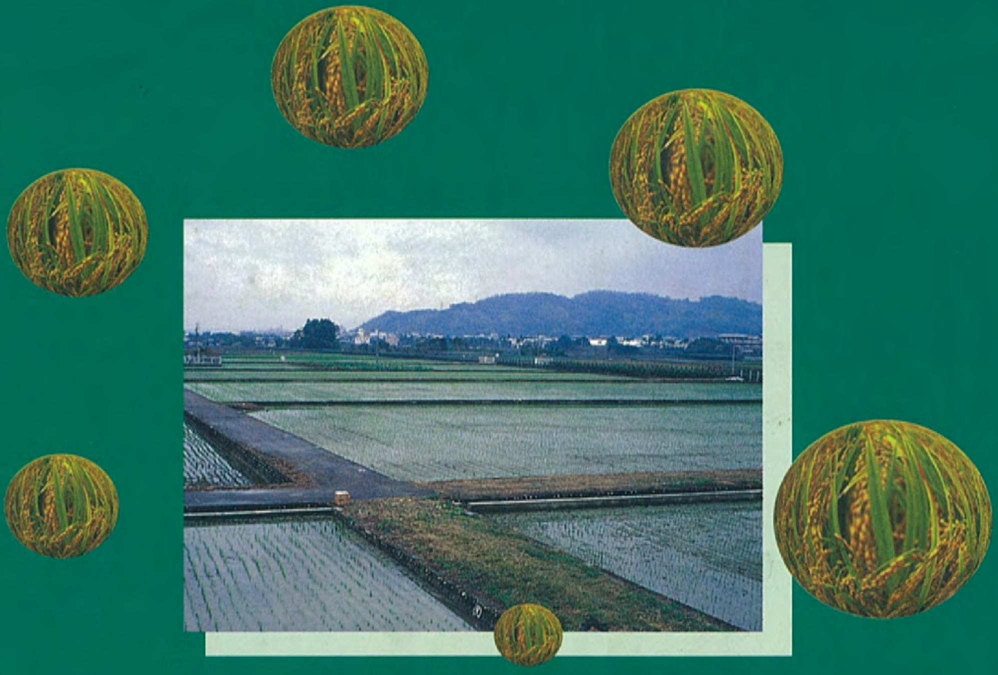
水稻精準農業（耕）體系之研究



楊純明
林俊義　主編

行　政　院
農業委員會　農業試驗所

中華民國八十九年四月

水稻精準農業(耕)體系之研究

Studies on Precision Farming System for Rice

ISBN 957-02-5829-2

水稻精準農業(耕)體系之研究

楊純明　林俊義　主編

行政院農業委員會農業試驗所　出版

中華民國八十九年四月

ISBN 957-02-5829-2

Studies on Precision Farming System for Rice

Editors

Chwen-Ming Yang, Ph.D.
Agronomist
Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute

Chien-Yih Lin, Ph.D.
Plant Pathologist
Director
Taiwan Agricultural Research Institute

Published by

Taiwan Agricultural Research Institute

April, 2000

序

經歷了千百年漫長的實際耕作，農耕技術在人類實務經驗累積與不斷改良下與日精進，農地面積和農作產值愈具規模，扮演帶動人類文明進展的幕後推手。然而這種傳統上採取一致性的農耕作業方式固然簡易方便，卻忽略了天然和人爲連續性處理引起農田各定點的時空變異，長期下來導致許多負面的環境問題，造成環境與生態的破壞及土質的劣化。尤其自十九世紀末開始人造化學品的大量使用，雖然對人口激增所需的糧食供應深具貢獻，也無可諱言的衍生許多環保難題。當人們的環保意識抬頭時，各種幾近毀滅式的環境災難亦逐一引爆，逼得人們正視地球村的生存危機積極的謀求解決之道。

精準農業理念亦因運而生，且迅速而廣泛的受到世界各地重視，近二十年間逐漸的形成較爲完整的理論與作業系統。雖然定義和內涵稍有不同，精準農業也被稱爲精準農耕、特定地點農耕、處方式農耕、或變異率應用技術等，顧名思義乃指對於農田各定點之土壤與農作物施予最適切處置的農作(耕)方法，同步提升作物品質及環境保護機會而達到精準管理與農業永續之目的。簡單的說精準農業的中心思想就是管理農田的變異性，包括空間的、時間的及預期的變異等三大類。

行政院農業委員會爲順應此一世界性農業發展潮流並開創臺灣地區農業新風貌，使成爲有「大希望」的新農業型態，特成立專案科技計畫「水稻精準農業(耕)體系之研究」，致力於研究與發展精準農業體系所需之關鍵科技，期以將傳統農業提昇至「精準農業」層次。冀望藉此計畫之執行引導國內農業朝向高科技和高效能時代邁進，加速農業生產技術升級，使臺灣農業得以永續經營與發展。

由於精準農業的觀念與推展在國內仍處於萌芽階段，相關技術的研發與整合工作仍有待產、官、學、研各界攜手努力共同合作，本項精準農業先驅性計畫執行單位農委會農業試驗所遂舉辦工作研討會。邀集參與計畫之研究團隊各學者專家齊聚研討，在學識經驗交流下相互腦力激盪，以凝聚共識規劃出未來的明確方向。本專輯即爲此項研討會講題之書面資料，精湛而豐富的內容提供識者做進一步的討論，也給旁觀者指引一條初窺精準農業究竟的明路，敬請大家不吝批評指正。

林俊義

2000 年 4 月

作　者

林俊義，所長
行政院農委會農業試驗所
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: cylin@wufeng.tari.gov.tw
美國普渡大學博士

Chien-Yih Lin, Director
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: cylin@wufeng.tari.gov.tw
Ph.D., Purdue University, USA

楊純明，副研究員
行政院農委會農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
美國德州農工大學博士

Chwen-Ming Yang, Agronomist
Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
Ph.D., Texas A&M University, USA

陳文德，科長
行政院農委會農場處農產科
臺北市中正區 100 杭州南路一段 15 號 6 樓
E-mail: tcheng@mail.coa.gov.tw
國立臺灣大學碩士

Wen-Deh Chen, Chief
Agronomy Division, Food and Agriculture Department, Council of Agriculture, Executive Yuan, ROC
6F, No.15, 1st Sec., Hung-Chou-South-Road, Taipei, Taiwan 100, ROC
E-mail: tcheng@mail.coa.gov.tw
M. S., National Taiwan University, ROC

郭益全，研究員
行政院農委會農業試驗所農藝系
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: yukuo@wufeng.tari.gov.tw
美國德州農工大學博士

Yih-Chuan Kuo, Senior Rice Breeder
Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: yukuo@wufeng.tari.gov.tw
Ph.D., Texas A&M University, USA

蔡金川，副研究員
行政院農委會農業試驗所農工系
臺中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: jctsai@wufeng.tari.gov.tw
日本國立東京大學博士

Jin-Chuan Tsai, Agrometeorologist
Department of Agricultural Engineering
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: jctsai@wufeng.tari.gov.tw
Ph.D., University of Tokyo, Japan

蔣永正，副研究員
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所
公害防治系
臺中縣霧峰鄉 413 光明路 11 號
E-mail: cyj@tactri.gov.tw
國立中興大學博士

Yeong-Jene Chiang, Associate Specialist
Department of Plant Toxicology
Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substance Research Institute
11 Kuang Ming Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: cyj@tactri.gov.tw
Ph. D., National Chung Hsing University, ROC

王鐘和，副研究員
行政院農業委員會農業試驗所
農化系
臺中縣霧峰鄉 413 中正路 189 號
E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw
國立台灣大學博士

Chong-Ho Wang, Associate Soil Scientist
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: chwang@wufeng.tari.gov.tw
Ph. D., National Taiwan University, ROC

張義璋，副研究員
行政院農業委員會農業試驗所
植物病理系
臺中縣霧峰鄉 413 中正路 189 號
E-mail: ycchang@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學碩士

Yih-Chang Chang, Plant Pathologist
Department of Plant Pathology
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mial: ycchang@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Chung Hsing University, ROC

余志儒，助理研究員
行政院農業委員會農業試驗所
應用動物系
臺中縣霧峰鄉 413 中正路 189 號
E-mail: jzyu@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學碩士

Jih-Zu Yu, Assistant Entomologist
Department of Applied Zoology
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: jzyu@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Chung Hsing University, USA

林木連，研究員兼主任
行政院農委會農業試驗所農化系
台中縣霧峰鄉 413 萬峰村中正路 189 號
E-mail: mullin@wufeng.tari.gov.tw
美國夏威夷大學博士

Mu-L ien Lin, Soil Scientist and Head
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng , Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: mullin@wufeng.tari.gov.tw
Ph. D., University of Hawaii, USA

郭鴻裕, 副研究員
行政院農委會農業試驗所農化系
台中縣霧峰鄉 413 萬峰村中正路 189 號
E-mail: hyguo@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學碩士

Hon-Tee Guo, Associate Soil Scientist
Department of Agricultural Chemistry
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung
Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: hyguo@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Chung Hsing University, ROC

黃維廷, 助理
行政院農委會農業試驗所農化系
台中縣霧峰鄉 413 萬峰村中正路 189 號
E-mail; wthuang@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學碩士

Wei-Tin Huang, Assistant
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung Cheng Road, Wufeng , Taichung
Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: wthuang@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Chung Hsing University, ROC

張明暉, 助理
行政院農委會農業試驗所農化系
台中縣霧峰鄉 413 萬峰村中正路 189 號
E-mail: mhchang@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學碩士

Ming-Hui Chang, Assistant
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung Cheng Road, Wufeng, Taichung
Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: mhchang@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Chung Hsing Univeristy, ROC

劉滄棽, 助理研究員
行政為農業委員會農業試驗所農化系
台中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: tsliu@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學博士

Tsang-Sen Liu, Assistant Researcher
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung
Hsien, Taiwan 413, ROC
E-msil: tsliu@wufeng.tari.gov.tw
PH. D., National Chung Hisung University, ROC

陳琦玲, 助理研究員
行政院農業委員會農業驗所農化系
台中縣霧峰鄉 413 萬豐村中正路 189 號
E-mail: chilling@wufeng.tari.gov.tw
國立中興大學博士

Chi-Ling Chen, Assistant Researcher
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung
Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: chilling@wufeng.tari.gov.tw
PH. D., National Chung Hisung University, ROC

林毓雯，助理
行政院農業委員會農業驗所農化系
台中縣霧峰鄉413萬豐村中正路189號
E-mail: ywlin@wufeng.tari.gov.tw
國立台灣大學碩士

Yu-Wen In, Assistant
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail: ywlin@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Taiwan University, ROC

劉禎祺，助理
行政院農業委員會農業驗所農化系
台中縣霧峰鄉413萬豐村中正路189號
E-mail: liujc@wufeng.tari.gov.tw
國立台灣大學博士

Jen-Chyi Liu, Assistant
Department of Agricultural Chemistry
Taiwan Agricultural Research Institute
189 Chung-Cheng Road, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, TOC
E-mial: liujc@wufeng.tari.gov.tw
M. S., National Taiwan University, ROC

劉振榮，教授兼主任
國立中央大學太空及遙測研究中心
中壢市320五權里38號
E-mail: grliu@csrsr.ncu.edu.tw
美國威斯康辛大學博士

Gin-Rong Liu, Professor and Director
Center for Space and Remote Sensing Research
Nation Central University
No.38, Wu-Chuan Li, Chung-Li, Taiwan 320, ROC
E-mail: grliu@csrs.ncu.edu.tw
Ph. D., Wisconsin-Madison University, USA

陳哲俊，教授
國立中央大學太空及遙測研究中心
中壢市320五權里38號
E-mail: ajchen@csrsr.ncu.edu.tw
美國萊斯大學博士

A. J. Chen, Professor
Center for Space and Remote Sensing Research
National Central University
No.38, Wu-Chuan Li, Chung-Li, Taiwan 320, ROC
E-mail: ajchen@csrsr.ncu.edu.tw
Ph. D., Rice University, USA

林唐煌，助理研究員
國立中央大學太空及遙測研究中心
中壢320五權里38號
E-mail: thlin@csrsr.ncu.edu.tw
國立中央大學碩士

Tang-Huang Lin, Assistant Research Scientist
Center for Space and Remote Sensing Research
National Central University
No.38, Wu-Chuan Li, Chung-Li, Taiwan 320, ROC
E-mail: thlin@csrsr.ncu.edu.tw
M. S., National Central University, ROC

申雍，教授
國立中興大學土壤環境科學系
臺中市南區 402 國光路 250 號
E-mail: yshen@nchu.edu.tw
美國威斯康辛大學博士

Yuan Shen, Professor
Department of Soil & Environmental Sciences
National Chung Hsing University
250 Kuo-Kung Road, Taichung, Taiwan 402, ROC
E-mail: yshen@nchu.edu.tw
Ph.D., University of Wisconsin, USA

盧福明，教授兼系主任
國立臺灣大學農機學系
臺北市大安區 106 舟山路 136 號
E-mail: lufuming@ccms.ntu.edu.tw
美國加州大學博士

Fu-Ming Lu, Professor and Head
Department of Agricultural Engineering
National Taiwan University
106 Chou-San Road, Taipei, Taiwan 106, ROC
E-mail: lufuning@ccms.ntu.edu.tw
Ph. D., University of California, USA

吳啟南，主任
工研院能資所遙測研究室
新竹縣竹東鎮 310 中興路四段 195-6 號 24 樓
E-mail: f690398@itri.org.tw
國立臺灣大學碩士

Chi-Nan Wu, Researcher and Chief
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab., Industrial Technology Research Institute
Bldg.24, No.195-6, Sec.4, Chung-Hsing Road, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC
E-mail: f690398@itri.org.tw
M. S., National Taiwan University, ROC

蕭國鑫，研究員
工研院能資所遙測研究
新竹縣竹東鎮 310 中興路四段 195-6 號 24 樓
E-mail: f760870@itri.org.tw
國立交通大學碩士

Kuo-Shing Hsiao, Researcher
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab., Industrial Technology Research Institute
Bldg.24, No.195-6, Sec.4, Chung-Hsing Road, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC
E-mail: f760870@itri.org.tw
M. S., National Chiao-Tung University, ROC

陳大科，研究員
工研院能資所遙測研究
新竹縣竹東鎮 310 中興路四段 195-6 號 24 樓
E-mail: f830274@itri.org.tw
國立中央大學碩士

Dah-Ko Chen, Research
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab., Industrial Technology Research Institute
Bldg.24, No.195-6, Sec.4, Chung-Hsing Road, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC
E-mail: f830274@itri.org.tw
M. S., National Central University, USA

廖子毅，研究員
工研院能資所遙測研究
新竹縣竹東鎮 310 中興路四段 195-6 號 24 樓
E-mail: f870041@itri.org.tw
國立中央大學碩士

Tzu-Yi Liao, Researcher
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab., Industrial Technology Research Institute
Bldg.24, No.195-6, Sec.4, Chung-Hsing Road, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC
E-mail: f870041@itri.org.tw
M. S., National Central University, USA

劉治中，副主任
工研院能資所遙測研究
新竹縣竹東鎮 310 中興路四段 195-6 號 24 樓
E-mail: f820027@itri.org.tw
美國猶它大學博士

Chi-Chnung Lau, Researcher and Deputy Chief
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab., Industrial Technology Research Institute
Bldg.24, No.195-6, Sec.4, Chung-Hsing Road, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC
E-mail: f820027@itri.org.tw
Ph. D., Utah University, USA

目 次

序 --林俊義 I

作者 -- II

目次 -- VIII

第一章 發展精準農業關鍵性技術，加速農業生產技術升級

---林俊義 楊純明 1

第二章 精準農業之發展與在臺灣之應用

--陳文德 7

第三章 水稻精準農業(耕)體系之關鍵要素與科技

--楊純明 15

第四章 稻作生長與環境關係之精準管理

-----------郭益全 蔡金川 蔣永正 王鐘和 張義璋 余志儒 25

第五章 土壤變異之精準管理

---------------------------- 林木連 郭鴻裕 黃維廷 張明暉 53

第六章 3S(GIS、GPS、DDS)技術在精準農業上之應用

-----------------------------劉滄棽 陳琦玲 林毓雯 劉禎祺 65

第七章 遙測科技在精準農業之應用—遙測水稻種植分布之實例

---------------------------------------劉振榮 陳哲俊 林唐煌 79

第八章 遙測科技在精準農業之應用—土壤與作物空間變異之檢測

--申 雍 93

第九章 精準農業體系之農機研發趨勢

--盧福明 105

第十章 遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗

--------------------吳啟南 蕭國鑫 陳大科 廖子毅 劉治中 111

名詞索引-- 127

CONTENTS

Foreword ---------- I
Contributors ---------- II
Contents ---------- VIII
Chapter 1 Development of Key Technology for Precision Agriculture and Improvement of Agricultural Production Technology
---------- Chien-Yih Lin and Chwen-Ming Yang 1
Chapter 2 Direction and Strategy of Development for Precision Agriculture in Taiwan
----------Wen-Deh Chen 7
Chapter 3 Key Elements and Technology for Precision Agriculture
---------- Chwen-Ming Yang 15
Chapter 4 Development and Precision Cultivation Practice Management in Rice
----------Yih-Chuan Kuo[1], Jin-Chuan Tsai[1], Yeong-Jene Ching[2], Chong-Ho Wang[1], Yih-Chang Chang[1], and Jih-Zu Yu[1]---------- 25
Chapter 5 Precision Management of Soil Variability
---- Mul-Lien Lin, Hon-Yee Guo, Wei-Tin Huang, and Ming-Hui Chang 53
Chapter 6 Applications of GIS, GPS, and DSS in Precision Agriculture
----------Tsang-Sen Liu, Chi-Ling Chen, Yu-Wen Lin, and Jen-Chyi Liu 65
Chapter 7 Application of Remote Sensing Technology on Precision Agriculture – A case study of cultivation distribution of rice
---------- Gin-Rong Liu, A. J. Chen, and Tang-Huang Lin 79
Chapter 8 Application of Remote Sensing in Precision Agriculture-Detection of Spatial Variability of Soils and Crops
---------- Yuan Shen 93
Chapter 9 Trend of Development in Agricultural Machinery for Precision Agriculture
---------- Fu-Ming Lu 105
Chapter 10 Preliminary Study on the Application of Remote Sensing and GIS for Precision Agriculture
----------Chi-Nan Wu, Kuo-Shing Hsiao, Dah-Ko Chen,
---------- Tzu-Yi Liao, and Chi-Chnung Lau---------- 111
Index ---------- 127

1 - 6, 2000

第一章　發展精準農業關鍵性技術，加速農業生產技術升級

林俊義　楊純明
行政院農業委員會農業試驗所

摘要 ---------- 2
壹、前言 ---------- 2
貳、發展精準農業體系之問題分析 ---------- 3
參、發展精準農業體系之建議 ---------- 4
肆、結語 ---------- 5
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 6

第一章　發展精準農業關鍵性技術，加速農業生產技術升級

林俊義　楊純明
行政院農業委員會農業試驗所

摘　要

展望二十一世紀的農業願景，預料將是結合生產與環境爲一自然體的永續農業方向，兼顧農業生產的穩定與環境生態的保護(育)。爲順應此一世界潮流並開創臺灣地區農業新風貌，勢須融合多元科技於農業生產及經營管理，提昇傳統農業至「精準農業」層次，加速農業生產技術升級，引導國內農業朝向高科技和高效能時代邁進，才能使臺灣農業得以永續經營與發展。精準農業的觀念與推展在國內仍處於萌芽階段，相關技術的研發與整合工作仍待推展。現階段精準農業體系必備之各項關鍵性技術與組件，包括(1)體系運作必需之農作與土壤資料庫及配套之全球定位與地理資訊系統、(2)具變異率功能之自動化噴施農機具及收穫物追蹤農機具、及(3)實施精準農業之農場經營管理與規劃作業等均亟待研發和建立，以建構初期精準農業作業體系(英譯爲 precision agriculture operating system)。 在國內全面精準農業之前宜先進行「精準農業先驅性計畫」，一方面發展精準農業關鍵性技術，另方面驗證精準農業在臺灣地區實施的可行性和評估對各方的衝擊，進而延廣關鍵性技術之多樣化應用加速農業生產技術升級。

關鍵詞：精準農業、關鍵性技術、農業生產技術。

壹、前　言

展望二十一世紀的農業願景，預料將是結合生產與環境爲一自然體的永續農業經營方向，兼顧農業生產的穩定與環境生態的保護(育)。爲順應此一世界農業發展潮流並開創臺灣地區農業新風貌，勢須融合多元科技於農業生產及經營管理，提昇傳統農業至「精準農業」層次，加速農業生產技術升級，引導國內農業朝向高科技和高效能時代邁進，才能使臺灣農業得以永續經營與發展。

1.何謂精準農業

精準農業(耕)(常見英譯爲 precision agriculture or precision farming)乃一種以資訊與技術爲基礎之農業經營管理體系，藉由鑑定、分析與管理特定農田(農作物)或土壤在空間與時間上的變異(故又稱特殊地區農耕，英譯爲 site-specific farming)，期以獲取最適經濟收益並兼顧環境保護和生態維護，確保農業的永續經營與發展。在精準農業體系下，農耕操作完全依照土壤性質、農作物生長需要及環境狀況給予匹配的資源(材)投入及處理措

施，避免多餘的資源浪費和對環境的劇烈衝擊。實施精準農業體系的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率與效能和改善不當的環境污染與生態破壞，在環保及經濟上得到最佳動態平衡，並對農業生產技術升級具有正面促進作用。

2.國內精準農業發展現況

精準農業的觀念與推展在國內仍處於萌芽階段，相關技術的研發與整合工作有待產、官、學、研各界攜手努力共同合作。現階段精準農業體系必備之各項關鍵性技術與組件，包括(1)體系運作必需之農作與土壤資料庫及配套之全球定位與地理資訊系統、(2)具變異率功能之自動化噴施農機具及收穫物追蹤農機具、及(3)實施精準農業之農場經營管理與規劃作業等均亟待研發和建立，以建構初期精準農業作業體系(英譯為 precision agriculture operating system)。

3.發展精準農業之條件

惟欲研發精準農業體系，當地必須具備優異的傳統農作知識與技術，擁有各種必要的先進科技、旺盛的研發潛力及各種專門人才，且需備妥高昂研發成本的支援。因此，顯然的唯有資本雄厚的大型農業經營公司(企業集團)或政府機關，才可能募集相關學門領域人才及研發經費，以團隊組訓方式研發各環節並進而組構體系，單憑個人或弱勢團隊是沒有能力無以為繼的。本文「發展精準農業關鍵性技術，加速農業生產技術升級」提出發展精準農業體系可能面臨之若干問題，說明其中關鍵技術所在，以使政府農業部門掌握必要信息供作施政參考，協助達到「應用新興技術，促進農業自動化及電子化之發展」總目標。

貳、發展精準農業體系之問題分析

在發展精準農業體系之前，應先檢討與評估其實施必要性、經濟效益及對農業整體發展之影響，再施予詳善規劃和研發工作。臺灣地區屬於「小農」農業經濟體系，農田為「拼盤式農作」型態，每一農戶(家)擁有的農地面積平均僅約 1 公頃，而在這 1 公頃面積內卻可能栽植多種農作物。在此前題之下，不適用歐美地區現行開發之大型精準農業體系，因為比照國外目前實施「精準農業」農場 200~5,000 公頃規模及每一農場單純農作物種類，完全異於國內農地栽培現狀。因此規劃精準農業體系之先驅性計畫，宜優先選擇國內較大栽植面積且具經濟規模之農作物，其栽培知識、耕作系統、產銷管道及研究人才等亦可能較為完備，方能順利達成目標。

1.發展精準農業之考量因素

在經濟效益的準則下，比較建構「精準農業」作業體系的研發費用及每一作季的必要運作成本，並不一定合乎農產回收水準。所以，除了發展精準農業關鍵性技術從事精準農業特定用途之外，亦可同時利用這些技術開發附加功能產品(作業系統)，擴大應用層面與價值而助益於農業生產技術的全面升級。復由於土壤長期化學肥料及農藥的施用，宜農地區的土壤多賴肥料及農藥的繼續使用來維持現行農業生產，欲改變現行作業方式勢將遭逢各方極大阻力。另國內農地在長期高劑量的化學肥料與農藥的施用下，已呈現明顯污染與破壞而漸形劣化之中，必須立即採行有效措施以恢復生機。貧脊地區則因資本投入甚高，實施要件更多、阻力更大，應提供經濟便利型式的精準農業體系才得以推廣使用。而臺灣地區複雜的氣象環境，各地域多變的天候，亦不利於精準農業的施行。在規劃多樣化精準農業體系時，自當考量不同農作物特色、農地條件及各地域氣象環境差異等因子。綜此諸觀點，若居於二十一世紀農業發展前景考量，臺灣地

區勢必發展合乎地方特色與獨特需求的精準農業體系，無法全盤接收國外目前採行之系統或僅開發單一系統去適用不同狀況。

2.國內農業現勢分析

再就國內農業現勢分析，在精準農業體系所需的農作與土壤資料庫方面，目前國內知識與技術均已足夠，欠缺的是其模式化及系統化工作，此部份假以時日當能依序建立。地理資訊系統及全球定位系統皆屬技術層面進展較易，國內的人才和技術足以支援，未來將兩者結合後即可迅速定位包括農作、土壤、遙測資料在內的方位座標、主題位置及多層次資料，提供後續處理、決策分析與利用。將來定位型衛星數量必然多過現今 24 顆，差分修正技術亦將更為進步，目標農地的定位誤差將可現場立即獲得而同步指揮系列動作。現今航空器及太空載台光譜遙測多為多頻譜掃瞄資料，光譜解析度較粗，未來若能增加頻譜數或改為高光譜遙測，波段偵測能力及光譜解析力將可大幅提升，對於農作物及土壤等時空變異判讀將更為精細而準確。再者，若能提升載台遙測之空間解析力，改進資料重覆性與再現性(即同一地點同一光譜數據間隔天數)等時效性不足缺點，則遙測系統即可滿足臺灣地區發展精準農業體系的特殊需求。而在高空或太空與地面載台光譜資料的連結上，因需校正大氣干擾、農地位置、及衛星軌道等偏差，必須進行同步偵測、分析串連地面地真資料建立之光譜與生長關係模式等工作，目前此類立體遙測資訊之連結及模式修正尚待實施。

參、發展精準農業體系之建議

綜合前述，在國內全面精準農業之前宜先進行「精準農業先驅性計畫」，一方面發展精準農業關鍵性技術，另方面驗證精準農業在臺灣地區實施的可行性和評估對各方的衝擊。

1.精準農業先驅性計畫

有鑑於水稻為國內最主要糧食作物，栽植面積及產值均居首位，且其栽培知識、耕作系統、產銷管道及研究人才等皆臻完備，因此可選擇作為精準農業先驅性計畫之參試農作物。本文據此建議首先進行『水稻精準農業(耕)體系之研究』先驅性計畫，以(1)規劃水稻精準農業體系內涵、(2)籌組任務導向研究團隊、(3)研發精準農業關鍵性技術、(4)開發精準農業關鍵性技術附加效益，及(5)落實與延廣水稻精準農業體系之功能與成效等五項為主要執行目標。

2.任務導向的研究團隊

執行概括多學門領域之大型科技計畫，首先要務是組成合適的研究團隊，才能針對計畫重點與目標進行適切的研究與發展工作，有機會獲得預期研發成果。所以，第二項建議乃為籌組『任務導向的研究團隊』，邀集必要學門領域人才共同積極研發與落實以下七項關鍵性技術: (1)農作物栽培資料庫，包括栽培技術與模式、有害病蟲動物雜草處置方法、管理措施與策略、處置逆境與災害之因應對策等；(2)土壤肥力資料庫，包括土壤物化性質、肥力動態分佈、施肥技術、環境變異對策等；(3)地理資訊及全球衛星定位應用系統，包括全球衛星定位與傳輸子系統、特定田區地理資訊、農作物栽培相關之多層次資料、環境變異之因應管理對策等；(4)遙測應用系統，包括農作物光譜資料庫、生長與產量光譜特徵模式、逆境與災害光譜特徵模式、立體遙測資訊處理子系統等；(5)自動化農機操作系統，包括可變率噴施農機子系統、產量追蹤與收穫農機子系統、作物與土壤特性感測農機子系統等；(6)精準農業農場經營管理系統，包括精準農業

農場規劃子系統、農場經營管理子系統、農作物產銷作業子系統等；(7)決策支援系統，包括農作物栽培決策子系統、環境變異之因應決策子系統、精準農業體系作業子系統等。

3.精準農業關鍵性技術附加效益

精準農業體系之研發成本十分龐大，參與之專業人才眾多而領域廣泛，如何充分發揮研究團隊之研發潛能極爲重要，應予妥善規劃與配置。因此，第三項建議訂爲開發『精準農業關鍵性技術附加效益』，期以協助推動農業生產技術升級，提昇精準農業先驅性計畫整體執行成效。精準農業的各項關鍵性技術，最後均將落實於體系之實際運作，具有相當的應用價值。然而，各項關鍵性技術亦可改良成爲獨立的作業系統，適用於多種情境之中，其發揮空間端賴研究人員去努力開創。研究團隊應當集思廣義，協力開發關鍵性技術之附加產品，突顯大型科技計畫之無限效益。

肆、結　　語

欲行農作物的經濟性栽培，必先備妥各種充分與必要條件，前者包括成熟的作物栽植技術、管理措施與策略、採收方式及收穫後處理方法等等，後者則涵蓋栽培過程中對動態環境的追蹤監測、因應對策和決策思維等等。在現代化的經營管理理念上，爲了永續農場的經營與發展，復當同時考量經濟效益、環境保護及生態維護等重要問題。因此而衍生「精準農業(耕)」作法，期以結合農作資訊與技術等必要軟硬體成爲一套農業經營管理體系，鑑定、分析與管理特定農田(農作物)或土壤在空間與時間上的變異，兼顧農作收益、環境保護及生態維護。

據此，完整而理想的精準農業體系當包括:(1)農作物栽培資料庫、(2)土壤肥力資料庫、(3)地理資訊及全球衛星定位應用系統、(4)遙測應用系統、(5)自動化農機操作系統、及(6)精準農業農場經營管理系統，同時由一套完善的軟硬體(即(7)決策支援系統)整合串連，連結成自動化(或半自動化)管理操作體系，擁有偵(檢)測、整理、分析、決策及作業等多重性功能。由此可知，構成精準農業的七項關鍵技術，分開來說這七項技術均自成一格各有其組件與功能機制，綜合而言則結合成一套完整的作業系統充分發揮『精準管理』的綜合性功能。

所以，在國內全面實施精準農業之前，宜先進行「精準農業先驅性計畫」，一方面發展精準農業關鍵性技術，另方面驗證精準農業在臺灣地區實施的可行性和評估對各方的衝擊，進而延廣關鍵性技術之多樣化應用加速農業生產技術升級。本文依照國內農業背景和現勢分析，如前述整理了三項建議: (1)進行『水稻精準農業(耕)體系之研究』先驅性計畫，(2)籌組『任務導向的研究團隊』，及(3)開發『精準農業關鍵性技術附加效益』，期以拋磚引玉喚起各界重視。冀望識者不吝批評與指正，並慷慨提供卓見，使得精準農業在國內得朝正確方向發展，獲得豐碩的成果，爲二十一世紀臺灣地區農業開創新風貌。

Chapter 1 Development of Key Technology for Precision Agriculture and Improvement of Agricultural Production Technology

Chien-Yih Lin and Chwen-Ming Yang
Taiwan Agricultural Research Institute
Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC

ABSTRACT

The new agricultural perspective in the twenty-first century is a combination of stable food production and comprehensive environmental protection for sustaining agriculture. To comply with the world trend and rebuild a new face for Taiwan agriculture, it is necessary to incorporate modern multi-facet technology and information into a composite farming management and operating system. The idea of precision agriculture comes to the market recently providing a fresh look onto future agriculture and a source of strength in promoting agriculture up to a stage of high efficiency and capability. A pilot project 'Studies on Precision Farming System for Rice' is carried out by Taiwan Agricultural Research Institute this year to research and develop the key elements and techniques required in precision agriculture system for operating in Taiwan. There are three goals to be reached at the present time. First of all, database of rice and soil in the field of precision farming should be established with the assistance of global positioning system and geographic information system. Secondly, automatic spraying machinery with variable-rate technique and yield monitoring machine are to be developed for chemical application and yield mapping, respectively. Finally, farm management and planning system need to be set up for functioning and operating of precision farming.

Key words: Precision Agriculture, Key technology, Agricultural production technology.

7 -14, 2000

第二章　我國精準農業的發展方向與策略

陳文德
行政院農業委員會農糧處農產科

摘要 ---------- 8
壹、前言 ---------- 8
貳、精準農業定義與發展背景 ---------- 9
參、精準農業在國外發展情形 ---------- 9
肆、精準農業的運作體系 ---------- 9
伍、國內精準農業相關研究之推動情形 ---------- 10
陸、我國發展精準農業面臨之問題 ---------- 12
柒、結語 ---------- 12
捌、引用文獻 ---------- 13
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 14

第二章　我國精準農業的發展方向與策略

陳文德
行政院農業委員會農糧處農產科

摘　要

李總統在民國八十七年出席第四次全國農業會議中，提示我國應積極發展精準農業之必要性，本會在八十八年三月三十一日對立法院的施政報告中也明確指出：未來農業的經營將結合現代化科技，使農業發展進步到「精準農業」的層次。隨後並將精準農業列爲施政的重點方向之一。精準農業爲一融合農耕知識及多種應用技術組成之農作物經營管理體系，藉由即時掌握時空資訊，結合相關資料庫之決策支援系統，以進行自動化管理作業，依照規劃循序達成新、速、實、簡的全套精準栽培與管理。目前我國在航遙測、地理資訊及衛星定位等相關技術之研究與應用已具基礎，爲積極推展國內精準農業，本會已於今（八十九）年度在本會農業試驗所成立先驅性試驗農場，邀集農業科技、資訊、遙測、衛星定位、自動化機械等技術領域之專家成立研究工作團隊，統籌各項技術之整合、應用與推廣工作。另外，在推動精準農業之同時，也可將相關技術應用於農作物面積調查、產量評估、天然災害查估與病蟲害監測等方面。在研究初期我們預期必然會遭遇許多困難，亟待克服之問題仍多，希望能匯集專家學者的智慧，集思廣義，共同謀求解決之道。

關鍵詞：精準農業、發展方向、策略、水稻。

壹、前　言

李總統登輝先生在民國八十七年九月出席第四次全國農業會議時強調，二十一世紀將因尖端科技的發展，使農業產生重大變革；我國二十一世紀的農業也將因生物科技、遙測技術與資訊技術的引進與應用，大大改變目前的農業型態，使農業再現新風貌，成爲有「大希望」的農業。同年十二月李總統並且在全國農學團體聯合年會中指出，我們應打破外界長期對農業是落後產業的錯誤觀念，要把農業當成尖端產業來經營。未來的農業將可以和遙測、航測技術與資訊技術相結合，除了可以針對農田病蟲害與農作面積、產量提供監測及適時預警以外，將進一步使傳統農業發展到「精準農業」的層次。這段話是總統對我國應發展精準農業的提示。

本會在八十八年三月三十一日對立法院的施政報告中指出，未來農業的經營將結合現代化科技，使農業發展進步到「精準農業」的層次。這是政府將精準農業納入施政的重點方向。

貳、精準農業定義與發展背景

一、定義

精準農業（Precision agriculture）又稱精準農耕（Precision farming）。美國國科會(NRC)曾組織一個委員會來評估精準農業的過去與未來的發展，並對其下定義爲：精準農業是一經營管理手段，採用資訊技術從各種來源的資料中分析獲得資訊，從而產生與農作生產有關的決策。Robert(1997)提出較具體的定義是：精準農業是一資訊及技術爲基礎的農業經營管理系統，用來鑑定、分析與管理特定農田或土壤的空間與時間變異性，期能獲取最佳收益，同時兼顧環境保護，確保農業永續發展。

二、發展背景

傳統的農業耕作與管理方式是將所有農田一視同仁，於農作實務上採取一致性的耕犛、播種、施肥、噴藥及灌溉等作業。然隨著農業知識的累積與科技的進步，發現上述作法忽略了人爲及自然造成土壤環境及作物的持續性變異，常引發農地的不當使用，而衍生許多資源效率與環境保護的問題；諸如產量顯著降低、肥料與農藥不當施用、毒害氣體釋放或滲漏、有毒物質長期殘留及作物生長環境劣化等現象，均可能於傳統農耕制度中逐一顯現。精準農業理念因此產生，期依照土壤性質及農作物生長需要，給與適當的資源投入及處理措施，避免多餘的資源投入和對環境的破壞。所以同一耕作區將可能有差異性的操作，視土壤肥力與含水量、作物生長狀況、病害與蟲害罹患程度、雜草蔓延與危害情形等實施不等量肥料、農藥、灌溉等作業。實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護及經濟效益上得到最佳平衡。

參、精準農業在國外發展情形

精準農業從觀念萌芽到發展成實際作業系統的歷史甚短，在美國、加拿大、澳洲等先進國家的研發亦僅十餘年，其相關技術尙在不斷的開發與修正當中。目前美國有許多農機、農藥公司和研究機構投入相關技術的開發與推廣，復由於本項技術之發展將影響下一世紀的農耕技術與生態環境，各國無不積極投入。

肆、精準農業的運作體系

精準農業爲一融合農耕知識及多種應用技術組成之農作物經營體系，掌握時空即時資訊，藉著完整詳善的相關資料庫模擬及決策，連結自動化管理操作系統的作業配合，依照規劃循序達成新、速、實、簡的全套精準栽培與管理。爲符合體系的各項要求，理想的精準農業作業系統必須包括六大要素：農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統、遙測技術、自動化農機操作系統，同時由一套完善的軟硬體整合串連，以擁有偵（檢）測、整理、分析、決策及作業等多重性功能（楊，1999）。

一、農耕資料庫(cultivation database)

結合農藝或園藝、病蟲害、農業微氣象等專家，融合作物栽培、逆境生理、植物營養、病蟲害與雜草管理、試驗統計及農業微氣象知識，建立農耕過程各種資料庫（包括常態、逆境及氣象干擾等歷年記錄）；再配合電腦軟硬體專業人員，整合作成分析與決策系統，能夠將作物即時遙測資料分析與判斷，提供現場作業人員做出作業決策而展開立即因應措施。

二、土壤資料庫(soil database)

土壤性質在每次耕作前後不一，若能累積該地區歷年土壤變異，給予整理分析

找出其規律或變異，對於往後農作物的栽培將有極大助益。因此，土壤資料庫的建立需花費相當人力與時間，項目愈詳細，處置作業愈周延，對精準的管理效果就愈大，亦可降低對土壤環境的污染與破壞。

三、地理資訊系統(GIS；geographic information system)

農地與作物有關資訊必須空間對位，即精準的在座標方位上標示正確的土壤、農耕資料、地理與地形等，形成多層次資料檔。此一工作可藉由地理資訊系統從事(1)資料的輸入與輸出、(2)資料的保存與更新、(3)資料的顯示與比較（對）、(4)資料的分析與決策、及(5)結果與決策的顯示與製圖（表）等五大項工作，行政院內政部的「國土資訊系統」即爲一例，國內在此方面的技術及經驗相當成熟，發展在精準農業體系上應無困難。

四、全球定位系統(GPS；global positioning system)

利用ＧＰＳ衛星定位與地理資訊系統結合，可很快定出遙測影像或其它農田主題土層中發生問題農地的位置；同時可配合農業機械之使用，引導至待處理之問題農地位置。

五、遙測技術(remote sensing technology)

遙感探測爲一門利用感測儀器不與被測物接觸即能獲得測定(量)資料的技術與科學，能蒐集與傳遞遠端事件即時資訊，同時完成觀測、判讀與決策等系列過程。在精準農業體系應用上，首先當以遙測技術建立農作植被光譜與植被生長之關係，利用追蹤與估測土壤環境、作物的生育狀態、病蟲害感染、雜草干擾、災害損害等及產量預測。當完整的植被光譜與作物生育特性模式建立後，即能利用即時遙測資訊，輸入資料庫進行研判與決策。遙測作業平台（載台）從低尺度（遙控飛機、吊台等）、中高尺（飛機）至太空（衛星），依需要性及限制性而定。

六、自動化農機操作系統(automatic agricultural machinery operating system)

精準農業的精神在於「因地制宜」與「恰到好處」，並可針對農地環境的空間變異，分別給予最適與最佳的處理。透過遙測技術得到農地及作物即時資訊，以全球定位系統（ＧＰＳ）標出方位及座標，顯示於地理資訊系統上，再由農耕及土壤資料庫組成的鑑別及決策，找出農地及作物的變（差）異性，配合具變異率功能的自動化農機操作系統實施變(差)異性處理，達成精準機械耕作的需求。因此，一套設計完整的自動化農機操作系統，將可同時配備各種必要感測系統及自動控制裝置，一方面感應與接收資訊，另一方發出決策指令作出自動化作業處理。

伍、國內精準農業相關研究推動情形

國內航遙測技術在本會林業處遙測小組的推動之下，已頗具基礎。但大多應用於森林資源、土地利用型的調查及監測；航照相片基本圖、主題圖的製作；數值地形模型資料的錄製等方面。近年來將部分重心關注於農作物影像判釋及監測、水稻各生長期之光譜特性資料庫、作物種類自動判釋系統、作物受災監測及遙測（RS）、地理資訊系統（GIS）、衛星定位技術（GPS）之整合應用等方面，已有初步之成果：

一、航測技術在農作物生產管理的研發與應用方面

1. 利用航測辦理稻雜作面積調查

前臺灣省政府糧食處自民國六十九年起，於每年期稻、雜作生育期間委託林務局農林航空測量所實施空中攝影，並晒

印航空照片後進行判釋，再將航照判釋結果轉繪於航測耕地圖上，再繪製稻作分布圖，並將資料輸入電腦精確統計稻作或保價雜糧種植面積。全年使用之航空照片達九千餘張，為目前全國使用航空照片量最大、涵蓋範圍最廣、且真正落實於行政業務之作業。

2. 利用衛星或空載多光譜掃描調查作物面積

航測調查水稻面積具有相當高的準確性，但在實施上亦有相當的限制，如航空照片為類比影像，目前仰賴人工進行相片判讀，花費人力高；且航空攝影受天候及空域管制因素，影響空照時機之掌握。為研究改進前項缺失，近年來委託中央大學太遙中心、成功大學航測研究所及工研院能資所進行以 SPOT 衛星影像判釋水稻面積，精確率為九十三%，但與航空照相之精確度比較，仍有改善之處。

3. 航遙測利用在災害監測、預警技術

本會遙測小組為建立作物生長狀況、逆境及災害發生時之快速監測、預警技術，並建立農田地理資訊及災害長期監測資料庫，作為農作物生長及災害等關鍵問題與解決方案之判斷依據，成立「結合遙測與地理資訊系統建置水稻判釋系統」、「遙測與資訊技術應用於精準農業之先驅計畫-農作物生長及農災監測」等計畫。

二、建立國土資訊系統

政府各機關基於業務的需要，建立各種國土資訊系統，內政部於七十九年成立跨部會之「國土資訊系統推動小組」，以協調各機關採取分工合作方式蒐集、建立完整且可共通、共享之國土資訊系統，以有效推動國土資源之規劃、利用、管理及國家基本建設。推動小組按各部會權責訂定發展方向，如本會負責自然資源與生態資料、內政部負責土地基本資料庫之建立、基本地形圖資料庫，經濟部負責環境基本資料庫等。

「國土資訊系統推動小組」已運作多年，持續推動國內地理資訊基本資料庫之建立，並在全台建立八個衛星追蹤站及一、二等衛星定位控制點各一〇五及六二二個。因此現階段衛星定位技術在國內應用已具備相當良好的基礎，未來並計畫在北、中、南各建一處衛星訊號廣播站，提供即時動態衛星定位應用，屆時將可有效達到符合精準農業即時接收、計算與定位之需求。

三、精準農業推動與執行情形

1. 委託台灣大學開發精準農業作物生產系統

本會在八十八年度委託台灣大學進行「應用衛星資訊開發精準農業作物生產系統」計畫，研究項目包括有定位技術、近地面通訊技術、立體攝影測量、遙測影像處理及地理資訊系統等技術，GPS、GIS及影像處理之整合研究，並配合作物生長光譜資料的蒐集，期能建立一套精準農業生產管理系統，以便未來將精準農業之研發結果，逐漸應用於農作物的實際生產工作，提昇國內農業經營管理方式。該計畫完成工作包括：試驗區水稻生育過程農藝性狀及微氣象資料之調查、台大安坑農場地理資訊基本空間資料圖之建立、安坑農場衛星影像及雷達影像之蒐集與分析、水稻田生長後期植栽光譜資料蒐集等。以上研究為精準農業之農場經營體系建立初步之雛形。

2. 在農業試驗所設置精準農業先驅性農場

為積極推展國內精準農業，本會經多次邀集專家、學者針對國內研究現況與發展基礎，研訂我國精準農業之發展方向與策略，並於八十八年十月十五日召開會議決議，有關精準農業科技計畫之研究，依專業知識與技術立場，由本會農業試驗所負責統籌辦理，成立精準農業先驅性試驗

農場，並成立研究群，由農業科技與資訊、遙測、衛星定位、自動化農機等技術領域之專家、學者組成研究群，統籌各項技術之整合、應用與推廣工作。

陸、我國發展精準農業面臨之問題

一、衛星影像解析度待提升

實施精準農業的基本需求爲一至五公尺的空間解析力及每週至少可獲取一次資料。國內目前衛星影像的空間解析力、即時性與重覆週期仍然不足以滿足精準農業的需求。未來可運用 ROCSATII(中華衛星二號)遙測衛星具有二至五公尺解析度之影像，及每日可攝取影像之頻率，來支援國內精準農業之應用。

二、建立精準農業工作團隊

精準農業相關的技術如地理資訊、遙測、衛星定位、變異率技術等都需專業人員共同努力，欲推展精準農業應用，須將農業與科技人才整合，並建立良好的溝通與互動關係，建立精準農業實施體系，並可先就已成熟技術加以利用實施。至於一些尚未成熟技術，則有賴團隊分工研究建立。

三、擴大經營面積

在規模經濟效益的準則下，建構精準農業系統的研發費用及實施在每一作季的必要成本，需符合農產回收水平；國外目前實施精準農業農場規模約在 200 至 500 公頃之間，且每一農場單純農作物種類。未來爲推展精準農業，針對水稻經營方式應研擬因應對策，以代耕代營爲核心，規劃集團栽培，按灌溉區規劃 25 至 30 公頃農田爲集團栽培班，100 至 150 公頃爲集團經營隊，接受小農及兼業農委託代耕代營；這個經營架構如能實施，則有利於精準農業體系的運作。

四、新型精準農業機械引進與開發

引進或研發具變異率功能的自動化農機操作系統，以適合台灣農業環境之要求，達成精準所需之感測及控制與自動化農機操作系統。農機具配備各種必要感測系統及自動控制裝置，一方面感應與接收資訊，另一方發出決策指令作出自動化機耕作業。

柒、結語

精準農業是一種以資訊與技術爲基礎的農業經營管理系統，藉助此一經營管理的手段，偵測、鑑別與管理某特定地區農地和作物之時空變異性，期能兼顧生態環境與農作生產之平衡，維持農業永續經營。

精準農業的觀念及相關技術至今仍在起步階段，爲推動本項工作必須加強宣導，另方面是仍有部份技術仍不成熟，因此有待進一步推廣，並改進技術。另外如農作物生長模式、產量與環境因子間之關係、病蟲害逆境造成的光譜變化等農業專業知識，仍有許多有待瞭解之處，尤其是在量化的研究上更應加強。發展精準農業需要成立工作團隊，並建構相關軟硬體設備。由於一切投資在實施精準農業過程之經費必需低於所增加之收益或節省的開支才有意義，因此採用大面積集團經營將是實施精準農業的先決與必要條件。至於資訊、遙測、衛星定位技術在國內已具基礎，但具變異率的自動化農機技術仍待引進建立；此外結合農業專業知識的專家決策系統及即時動態衛星定位技術仍有待未來建立。

另外，在推動精準農業之同時，衛星遙測技術應用於農作物面積調查、產量評估、天然災害查估與病蟲害監測等，未來均有發展空間，亟待加強研究以供未來施政之依據或參考：(1)作物面積及產量之預

估：應用航遙測技術，配合電腦化耕地及地籍基本資料庫，建立正確之預測技術。(2)農作物天然災害評估：應用光譜影像處理技術，建立主要作物受風災、水災、旱災、震災等面積查估系統，及受損程度之評估。(3)農作物疫病蟲害區查估：研究農作物可能受疫病蟲害前或初期之光譜特徵；利用遙測光譜技術，估計可能受害範圍及程度，供疫病防治之參考。

捌、引用文獻

1. 楊純明。1999。發展精準農業之淺見。行政院農業委員會農業試驗所技術服務 39:2-8。
2. Robert, P. C. 1997. Remote Sensing: A potential Powerful Technique for Precision Agriculture. Land Satellite Information in the Next Decade II. December 4, 1997. Washinglon D. C.

Chapter 2 Direction and Strategy of Development for Precision Agriculture in Taiwan

Wen-Deh Chen
Agronomy Division, Food and Agriculture Department
Council of Agriculture, Executive Yuan, Taipei, Taiwan 100, ROC

ABSTRACT

President Lee Teng-Hui pointed out in his opening speech in the National Agriculture Meeting that Taiwan should seek for the development of precision agriculture to meet the world trend and future food need in the new millennium. To respond for this new idea into a possible policy, Council of Agriculture made an important statement when reported to the Legislative Yuan on 31 March 1999, stating that this Council will try every effort to incorporate modern technology to promote a high level of agricultural management in the twenty-first century. Since then development of Precision Agriculture became a popular consensus and eventually turn into one of the crucial agricultural policies. A pilot project, namely 'Studies on Precision Farming System for Rice', was established at the end of 1999 for research and development of key elements and techniques required in operating precision management for rice. It is hoped that through this project a prototype of precision farming system can be set up and future improvement work may have a direction to go. The related information and technology leading to development of the potential system is reviewed in this paper.

Key words: Precision agriculture, Direction of development, Strategy, Rice.

15 -24, 2000

第三章　精準農業之關鍵要素與科技

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝系作物逆境研究室

摘要 ---------- 16
壹、前言 ---------- 16
貳、精準農業 ---------- 17
參、精準農業的關鍵要素 ---------- 18
肆、精準農業的關鍵科技 ---------- 20
伍、結語 ---------- 22
陸、引用文獻 ---------- 23
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 24

第三章　精準農業之關鍵要素與科技

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝系作物逆境研究室

摘　　要

人類的農藝史係一段長期實際耕作加上經驗累積與不斷改良的發展歷程，對於可耕地的耕作方法傳統上在同一塊農田採用一致性(uniform)的耕犂、施肥、播種與病蟲害管理等作業，完全忽略了天然和人爲連續性處理引起農田各定點的時空變異。長期下來，農田的諸種環境問題必然逐一衍生，例如土壤營養元素不均衡、酸鹼值不對、人造化學品殘毒累積、及化學毒物自農田的滲流與排放等，導致土質劣化而不利於農作生產。自二十世紀末起環保意識大大抬頭，精準農業理念的倡導亦因運而起，迅速而廣泛的受到世界各地重視，各種實務性的作法也開始試驗性的展開，逐漸的形成較爲完整的理論與作業系統。精準農業或稱精準農耕、特定地點農耕、處方式農耕、變異率應用技術等，由知係一正在發展中融合多元學術領域之嶄新現代化農業應用科技，發展歷史甚短迄今僅約二十年。精準農業簡要的說就是瞭解與關懷農田(土壤與農作物)的想法和作法，提供同步提升作物品質及環境保護機會而達到永續精準管理農業系統之目的。成功實施精準農業之關鍵要素爲資訊(information)、科技(technology)、及經營管理(management)等三項，相關統合型科技爲特定農田管理與決策支援系統(site-specific management & decision support system)、遙測與監視系統(remote sensing and spatial monitoring system)、差異性農機作業系統(differential action system)、及農場經營管理系統(farm management system)等四種，本文並特別介紹四種重要的個別型關鍵科技: (1)遙測科技、(2)全球定位系統、(3)地理資訊系統、及(4)變異率施用科技。

關鍵詞：精準農業、精準農耕、特定地點農耕、關鍵要素、關鍵科技。

壹、前　　言

在農作物栽培過程當中，諸如該不該灌溉、該不該施肥、該不該噴藥、該噴施多少量的那一種農藥等等問題，經常困擾農民朋友。爲節省開支或減少麻煩，通常農民希望採用一種萬能的解決方法，能夠畢其功於一役，一次就完全而澈底的解決所有的問題。很不幸的，大自然卻無法令人預測，農事亦非盡如人意般的單純，世上並不存在萬靈藥。儘管圖示上顯示爲同

質均一的土地，事實上可能具有極爲複雜的解剖構造，各土層的性質有著極大差距。是的，真實世界就是這樣，很難用單一方法克服所有的困難，潛在的複雜度往往是目測無以想像的。

人類的農藝史係一段長期實際耕作加上經驗累積與不斷改良的發展歷程，對於可耕地的耕作方法傳統上在同一塊農田採用一致性(uniform)的耕犛、施肥、播種與病蟲害管理等作業，完全忽略了天然和人爲連續性處理引起農田各定點的時空變異。尤其當農田面積增加後，人力短缺下勢必配合機械化工作，更是必須採取統一操作方法。雖然農作收穫物數量在農田出現空間變異，不同土層或土帶已呈現明顯貧脊或過肥現象，卻仍舊一層不變的採行此種不當而無效率的作業方式。長期下來，農田的諸種環境問題必然逐一衍生，例如土壤營養元素不均衡、酸鹼值不對、人造化學品殘毒累積、及化學毒物自農田的滲流與排放等，導致土質劣化而不利於農作生產。自二十世紀末起環保意識大大抬頭，人們強烈的關心青山綠水的永續性，環境保護與生態維護議題風起雲湧，經濟與環境孰重孰輕各有公評。精準農業理念的倡導遂因運而起，迅速而廣泛的受到世界各地重視，各種實務性的作法也開始試驗性的展開，逐漸的形成較爲完整的理論與作業系統。

貳、精準農業

精準農業(precision agriculture, PA)或稱精準農耕(precision farming, PF)、特定地點農耕(site-specific farming, SSF)、處方式農耕(prescription farming, PF)、變異率應用技術(variable rate application technology, VRAT)等，由前述得知係一正在發展中融合多元學術領域之嶄新現代化農業應用科技，發展歷史甚短迄今僅約二十年。

一、何謂精準農業

精準農業顧名思義乃指對於農田各定點之土壤與農作物施予最適切處置的農作(耕)方法，簡要的說就是瞭解與關懷農田(土壤與農作物)的想法和作法，提供同步提升作物品質及環境保護機會而達到永續精準管理農業系統之目的。精準農業的中心思想就是管理農田的變異性，包括空間的變異(spatial variability)、時間的變異(temporal variability)及預期的變異(predictive variability)等三大類。農田的空間變異可以由橫跨農田的土壤與作物之差異分佈實際展現，時間變異能夠從生育進展及歷年表現之差異評估，而預期變異則可由預定值(predicted value)與實測值(actual value)間比較區分出差異。

二、精準農業內涵

於是乎，精準農業包括以下內涵：(1)觀測特定農田狀態與農作物生長情形，(2)評估環境變異對農作物造成之衝擊，(3)綜合現狀觀測與決策支援系統做出判斷，(4)針對各定點施予及時而有效的因應對策，(5)各種作爲配合定點農田及作物的實際需求並兼顧環保平衡，及(6)以維持穩定的農作物生產、高品質收穫物與農田永續經營爲最終目的。這些項目也可視爲實施精準農業的步驟或作業程序，以土壤取樣(soil sampling)及產量分佈(yield mapping)調查作爲是實施精準農業之啓始步驟。對於實施精準農業的特定農田，播種前的土壤取樣可以獲取土壤肥力之空間分佈，栽植期間的土壤取樣可以瞭解土壤肥力之時空變化趨勢，收穫時的土壤取樣解釋了農作物生產的因果關係。另一方面，此一特定農田前期產量空間分佈圖說明了當地農田肥力與環境變異對產量的可能影響，當期產量空間分佈圖展示了差異性處理的成效並作爲下一期規劃作業參考，歷年產量分佈則顯示出當地的時間變異區間。

而在生育期間，農田狀態與作物表現的即時追蹤，除可經由決策支援系統輸出差異性處理對策，並可同時模式模擬出預期的產量空間分佈圖。此一預期的產量空間分佈圖呈現出農田空間變異之顯著性，且回饋再作爲差異性處理之決策依據。如此循環，利用即時的追蹤與管理改進生育期間的各種作業，終至達到精準管理需求。

三、實施精準農業預期成效

實施精準農業的結果可以獲得六種預期成效: (1)提高產量與品質、(2)供給各相關資訊而改進經營管理決策、(3)改善農藥與肥料施用效率而減輕資材及費用的支出、(4)提供更準確的農場管理紀錄、(5)增加整體農耕效益、及(6)降低環境污染。值得注意的是，實施精準農業未必獲得最大產量，而係在不惡化環境前題下經由減少非必要支出、降低環境污染及穩定生產與品質獲取最高整體農(作)耕效益。

四、精準農業實施方法

欲實施精準農業，生產者必須依照農田狀態、作物種類與實施目標之綜合資訊評估結果，選用適當的機具與技術，再根據環境變化及農作物表現給予適切的處置。以化學資材之處理爲例，其實施目的在於將適當的資材以適當的用量施予各定點(農田之網格化點)，補償或改善環境條件而達到最妥善的處置，使得農作物獲得最佳生長表現乃至於最大生產。各定點可能獲得不等施用量，由具可變異率機具(variable rate equipment)依照各定點特定需要逐點施用。以這樣的特定地點經營管理理念(site-specific management concept)與處方式作法(application to prescription)相同的實施於播種、耕犛、收穫及收穫後處理等階段，即構成生產過程的精準管理一不過量也無不足，獲得質量具佳的最終生產結果。最重要的是在任何作業之前，應該先予準確與精確的偵測與分析後，才能做出合理而適當的決策進行最適切的處置。

參、精準農業的關鍵要素

精準農業爲肇始於農作生產之新觀念，且受到林業、漁業及牧業的重視而發展各自適用的系統，惟目前仍以農作生產較爲多元化和普及化。精準農業可簡單定義爲最佳化農作生產之一種全備系統(comprehensive system)，從作物生產前規劃開始，包括生產過程中的耕犛作業、播種、化學物品施用、收穫、乃至於收穫後處理等完整過程。依照當地的需求，可以分別訂定五項運作精準農業的主要方向(或目標): (1)增進生產效率(increased production efficiency)、(2)改良產品品質(improved product quality)、(3)提高化學品利用效率(more efficient chemical use)、(4)節約能源使用(energy conservation)、(5)保護土壤與地下水源(soil and ground water protection)，當然也可以是多重方向(或目標)。明確訂出方向後，接著需要認識與瞭解精準農業的關鍵要素，成功實施精準農業之關鍵要素爲: (1)資訊(information)、(2)科技(technology)、及(3)經營管理(management)(Precision Agriculture, 2000)。

一、資訊

資訊乃現代化農民最珍貴的資源(產)，即時而準確的資訊係從規劃至收穫後處理之全生產過程各環節中之要素，重要資訊內容包括: (1)農作物特徵、(2)土壤性質、(3)肥料需要、(4)雜草族群、(5)病蟲族群、(6)作物植株生長反應、(7)產量數據、及(8)收穫後處理資料等八類。

實施精準農業需要整合這些相關資訊成爲資料庫，不是一條條生硬的文字，而是成爲模式化與系統化活生生的決策系統。能夠應用在栽培與經營管理上，也能夠應用在處理環境變異，作爲逆境及災害

的因應措施與策略。在農作物生育期間的即時監測上，又成爲判讀與決策的憑據，以做出及時的指揮處置排除問題。據此原則可以訂出(1)農作栽培與管理資料庫(cultivation & crop management database)，至少包括(A)實施精準農業農田之最適農作物栽培條件、(B)農作物最佳栽培管理策略、(C)判斷農作物生長表現之決策模式、及(D)各種可能環境狀況之因應對策等四要件；及(2)土壤性質與管理資料庫(soil property & management database)，至少包括(A)實施精準農業農田之土壤性質(土壤結構、土質分佈)、(B)最適農作物生長之土壤條件、(C)改善土壤肥力之因應措施與策略、及(D)判斷土壤肥力分佈狀態之決策模式等四要件。

二、科技

現代化農業生產可能利用到許多有關科技，例如電腦軟硬體(computer and software)用來整合與處理資料，地理資訊系統(geographic information system, GIS)協助彙整農田與作物多層次資訊，全球定位系統(global positioning system, GPS)作爲農田與作物之定位，各式感測器(sensors)於偵測與追蹤土壤性質、化學品處理、作物生育狀態、收穫、及受穫後處理等過程，決策支援系統(decision-making system)以整理與分析即時資訊並做出決策而回饋控制或調整操作程序，以及操作農機具(operating machines)來延續感測與決策系列做出實際處置步驟(如播種、施肥、噴藥、灌溉、收穫、收穫後處理等)。

這些科技均爲精準農業體系之可能構成因子，經由嚴謹規畫統合組成一套環環相扣的專家作業系統，達到精準管理目的。其實，嚴格來說並非物理學上既精又準不可絲毫差距的作法，而係相對標準的差異性處理，藉著滿足空間分佈各定點的微小差異換取整片農田的大幅利益提升。據此原則可以訂出四種統合型科技: (1)特定農田管理與決策支援系統(site-specific management & decision support system)，至少包括(A)實施精準農業農田地理資訊系統(含空間網格化定位)之建制、(B)多層次資料之建立與更新、(C)決策支援系統之建立與指揮運作、(D)即時資訊之處理與分析、及(E)差分全球定位接收技術(dGPS receiving technology)以精確定位各定點之地理座標等四要件(Whelam *et al.* 2000)；(2)遙測與監視系統(remote sensing and spatial monitoring system)，至少包括(A)實施精準農業農田與農作物監視遙測系統之建立、(B)農作物與土壤遙測光譜資料庫之建立、(C)即時遙測資訊之追蹤與處理、及(D)遙測資訊判讀與決策支援系統之連結等四要件；(3)差異性農機作業系統(differential action system)，至少包括(A)具變異率功能噴施農機具、(B)產量收穫追蹤農機具、(C)土壤與作物性狀感測農機具、及(D)衛星定位與資訊接收系統等四要件；及(4)農場經營管理系統(farm management system)，至少包括(A)實施精準農業之農田規劃、(B)農場之經營管理、(C)農作物產銷流程、及(D)農作物收穫後處理等四要件。

三、經營管理

精準農業體系之成功與否，主要在於體系之經營管理，使得資訊與科技結合成一完善的操作體系而充分發揮體系內各子系統的整合功能。因此，缺少具有效率與效能的經營管理，資訊將未能有效處理與分析，技術將無法落實於實務操作，當然就難以做出精準管理決策與處理應用於農作物生產。因此，如何規劃出完整詳善的經營管理作業於精準農業體系中，實爲體系成功運作的關鍵，亦爲運作精準農業體系的先決條件。反之，若無法結合必要的組件，同步執行系列程序以達到精準管理目的，則精準農業體系勢將無法顯現其整體效益。

經營管理的成功關鍵在於人，培訓能夠運作體系的人，發揮人的工作效率與效能。運作精準農業體系的人需要具備專業的技能，掌握時機的做出決策選擇，依照決策做出正確的處理動作。

最後，特別要指出常態運作精準農業體系單位(機構或團隊)的重要性，也就是設置常設單位的必要性。精準農業體系並非個人所能獨立操作，體系的『後勤支援』非常的重要與必要，是整個精準農業體系永續經營的基礎。此常設單位具有八項功能: (1)回顧與評估精準農業相關之文獻、新知及應用科技，提供適時和即時建言(議)；(2)歸納必要研究方向以進行特定地點作物管理農藝措施之經濟效益及環境衝擊影響評估，改進因應對策；(3)積極發展研究方法、資料蒐尋及資訊儲存之規格化標準，助益於體系之研發工作；(4)整合相關學門領域專家學者協力進行各項研究，開發系統所需多元技術；(5)加速精準農業體系關鍵技術之研發與轉移，推廣精準農業之應用；(6)拓展精準農業體系在收穫後處理上應用層面，提升收穫物品質；(7)確保改進精準農業體系組件與功能之必要研發工作，並提供使用者高品質教育訓練；及(8)溝通精準農業體系使用者、研究人員、組件製造廠商、農政單位、立法機關及學生之間交流資訊，促進精準農業之永續經營與發展。

肆、精準農業的關鍵科技

從人類歷史的演化過程觀察，農業生產系統進步之鑰多伴隨著其他產業科技的發展而啓動，例如工業革命時期機械與化學的創新製造出化學肥料，大幅提高了農作物生產；生物科技時代造就了基因工程技術，使得「理想作物(ideal crop)」育種成爲可行，給解決人類糧食危機帶來光明願景；如今到了資訊世紀，知識與科技的結合開創出精準農業的潛力，使人們有能力精準的管理農作物生產過程而得以穩定農業生產與品質。透過差分全球定位系統(differential Global Positioning System, dGPS)、地理資訊系統(GIS)及微電腦等組件，人們可以將充足的農作生產知識連結來判斷與追蹤農田各定點的時空變異，應用適當的農機系統給予農作物和土壤及時而適當正確的處置與管理達到精準農業目的。如此作爲將可同時滿足人們對於農業生產的經濟要求及環保需求，以差異性處理方式對應的配合並控制作物與土壤現況所需的資材(源)投入，不僅增進資材使用效率(resource use efficiency)亦降低對環境的負面衝擊，在環境生態與農場收益上達到雙贏境界。本文特別介紹四種重要的個別型關鍵科技: (1)遙測科技、(2)全球定位系統、(3)地理資訊系統、(4)變異率施用科技(variable-rate technology)等四種。

一、遙測科技

遙感探測在於從遠端收取特定地區之感測資料，並予以詳細而真實的描述該地區之實際情景，再詳實(儘可能的)的傳遞至接受端顯示。

以光譜遙測(spectral remote sensing)爲例，通常將光譜感測器承掛在不同載台的飛行體上來偵測地表植被反射光譜。從天氣配合度觀點，航空偵測系統(airborne measuring system)之安排較衛星觀測(satellite observation)單純；從涵蓋面積立場，則較地面觀測(ground observation)寬廣。如美國航空及太空總署(National Astronautics & Space Administration of the United States, NASA)之先進熱溫與土地應用感測器(Advanced Thermal and Land Applications Sensor, ATLAS)遙測系統言，常裝載於 Stennis Lear jet 噴射機上同時感測 15 條多頻譜光輻射(multispectral radiation)；像元解析度(resolution per pixel)可達 2 公尺且左右視角(swath width)可達 30 度，波長涵蓋熱紅外線(thermal

infrared spectrum)、近紅外線(near-infrared spectrum)及可見光(visible spectrum)波段，並可同步予以即時主動校正，包括幾何偏差(geometric abnormalities)與輻射修正(radiometric calibration)，再經重組線掃描成爲二度空間影像資料(Miller, 2000)。依照植被生長情形或土壤特性，可選取所需三條波段，賦予紅、綠、藍三原色組構彩色影像圖顯示。

1. 土壤物特性遙測

若能獲知一特定農田土壤生產潛力之空間分佈圖及土壤之農作物可利用營養組成空間分佈圖，則可據以施用特定量之肥料與有機質於定點來調節土壤肥力，且可預知產量及分佈。如此程序可最佳化該特定農田之經濟效益，並將土壤營養元素流失及過量施用可能性降至最低。因此，欲實施土壤精準管理，當首先瞭解農田之肥力空間分佈(spatial mapping of fertility for a field)，再追蹤土壤肥力之時空變異，因時因地置宜的施用適當肥料之合適用量，以獲得預期的作物產量。該特定農田歷年產量資料可作爲其土壤生產潛力評估基準，多年之產量分佈資料則可提供吾人瞭解當地氣候狀況，並分析氣候(或天氣)對該農田產量變異之影響。

土壤質地(尤其粘土比例)與有機質含量乃土壤活性化學組成分，影響土壤供應農作物所需之營養成分，也關係土層水分儲存容量(soil moisture storage capacity)(Whelan *et al.*, 2000; Parsons, 2000; Miller, 2000)。惟這些構成因子相當困難於短期間內加以改良，瞭解其在土壤中濃度將有助於先期處理和當時生產資材投入決策之訂定。遙測技術能被夠利用於估測土壤表層有機碳化合物濃度，經由土壤導電度(soil electronic conductivity)的遙測資料與黏土濃度之直線相關，吾人可據以估測土壤黏土濃度。由澳洲精準農業中心(Australian Centre for Precision Agriculture)研究顯示，粘土(clay)及有機質含量對某特定農田高粱產量具有顯著影響，而決定土壤含水量的土質因素則對澳洲大多數土壤主要穀類作物生產均有明顯影響(Stewart, 2000)。其他土壤成分如可利用營養元素含量(available nutrient levels)和酸鹼值(pH)亦影響產量，通常實施精準農業的考量次序以最主要的產量限制因子爲優先，於獲得控制後再視狀況依序處理各項因子。然精準農業的精神並非去產生完全均一的農田，而係調和各定點至各別最佳情境，因此最終產量可能仍存在空間變異，惟各定點或將達到其最高生產潛力。經由差異性處理避免了各定點多餘的資材投入，於是非但減少了經營管理成本同時降低了對環境的破壞及後續污染改善費用，增添了實施精準農業的整體經濟效益。倘若某一特定農田經歷了精準農業體系的操作檢驗後，仍然無法提升其生產潛能或經濟效益，則此一農田或可認定爲非宜農土地而另做其他產業用途，或不須再施予額外花費以減輕經濟損失。

美國普渡大學研究人員開發「土壤 pH 及硝酸態氮感測器」以利用於精準農業土壤酸鹼值與硝酸態氮之管理(NCR 180 Site Specific Management, 2000)。此系統包括滾動式土壤採樣器(rolling core sampler)、pH 與硝酸態氮特定感測器、電腦自動化分析站(automated analysis station)、曳引機(tractor)及全球定位系統(GPS)接收器等組件，感測器有田間適用離子式電晶體(ion-sepcific, field-effect-transistors, ISFETS)、電子式阻抗計(electrical impedance)、電磁式自感器(electromagnetic inductance)、及色層分析計(spectroscopic device)等種類。聲(音)波型土壤結構感測器係利用頻率訊號來估測土壤中砂土與黏土成分之比例，而分析土層結構。

2. 農作物特性遙測

利用遙測方法追蹤各定點農作物生長表現，亦可估測該農田可能產量之空間分佈。當病蟲害或災害(天然或人爲公害)

發生時，可利用遙測技術於監視危害程度與未來進展，展現該項損害徵狀之空間分佈(圖)，俾利吾人給予及時的差異性處理。差異性處理乃藉由前述方法建立之農田各定點空間分佈圖，配合氣象環境指標及作物反應模式來導引，將各定點限制因子卸除。

遙測之優點是提供即時農作物生長狀況，成爲當時產量空間分佈之估測依據，而非依賴該農田過去多年之產量紀錄，其可靠性與準確度均較佳。利用遙測資料估測農田之產量空間分佈有若干方法，常用之技術爲農田之綠度(greenness)分佈，即在農作物生育關鍵時期觀測綠度之空間分佈，由於該關鍵期綠度與最終產量高低具有密切相關，因此得以研判農地之產量空間分佈情形。綠度計算公式主要係利用農作物植被紅光及近紅外光波段之反射比值(reflectance)，或加以不同比例(ratio)或權數(weighting factor)計算之，文獻上常見之各種植被指數(vegetation index)即是。此一技術係採用相對比較方式來區別產量高低，必須先建立該農田之空間分佈基礎線(spatial distribution baseline)，據以比較與潛在產量(yield potential)之間差異的空間分佈。惟特定農田有其特定環境與法則，可能無法延用至所有農田，參與精準農業之農田均應建立其空間分佈基礎線。此外，亦有利用作物植被熱紅外線測溫之能量動態分佈，相互比較熱像之時空變異與產量關係而估測未來產量及比較不同農田產量差異。此一技術需配合作物生長調查與土壤營養元素及水分之追蹤分析，以解釋造成熱紅外線測溫差異之原因，並作爲判斷根據。

二、全球定位系統(GPS)

全球定位系係美國軍事單位爲精確定位戰場上人物的位置爲目的所研發之技術，在波斯灣戰爭之後開放予一般大眾使用，自此而產生多樣化用途。在精準農業之應用上，可分別進行即時定位協助偵測農田及作物各定點當時之差異分佈，或定位各地點以利於歷年資料之統計及未來生產資料之評估，經由決策支援系統輸出因應差異性處理方法與策略，而降低生產費用並減少對環境的負面衝擊。

三、地理資訊系統(GIS)

地理資訊系統爲一電腦應用軟體，設計來作爲處理與展示農田空間分佈多層次資料的工具。吾人可將地理資訊系統視爲一具有電腦運算能力的地圖，隨時可以將輸入的網格化定位化的資訊重組、運算、分析與顯示，更新時空變異之綜合結果。顯示的方式從簡單的數字、文字、圖、表等型式，至搭配複雜的聲光影像俱全的現代化多媒體作法，以加深使用人或觀看人的印象。亦可另予修飾、印出或儲存於資料庫，供後續多元化利用，例如結合農藝模式及決策支援系統而成爲有力的經營管理工具。

四、變異率施用科技(Variable-rate technology)

精準農業體系經由對特定地點精準管理方式(site-specific management)，提供了解決這些潛在問題的途徑，試將資源投入與農藝措施配合農田各定點土壤性質與作物需求，以差異性處理(differential treatment)原則滿足農田空間變異分佈。換言之，即在找出各定點影響生長或產量之主要限制因子後，迅捷地以具變異率功能噴施農機具進行差異性作業施予適當措施，滿足需求而卸除限制因子之負面效應。

伍、結語

資訊是一切成功產業達成目標的充分條件，技術則是產業理想具體實踐的必要條件。拜現代資訊與技術之賜，農業投入與生產過程已能相當詳細的逐步追蹤；

吾人可經由生產資料的收集與分析，瞭解到過程中的時空變化及特性，經由土壤與環境變因的分析與歸納，模擬出可能的因應對策。欲將傳統農業制度與做法更改爲精準農業體系並非一蹴可及，首先需要有堅實的研究與教育基礎，發展和改進必備的資訊與技術，尙且獲得必要的政治及經費支持。精準農業在臺灣仍處於啓蒙階段，爲了立足於二十一世紀兼顧經濟與環保的永續農業潮流，善用蓬勃發展的科技和組織化系統化的資訊，國內勢必朝向主流的精準農業進展。如此，作爲推動工商產業能源的農業產業，才能順勢掌握轉型升級的契機開創出第二春，同時擔當維繫民眾穩定糧食供應的重責大任。

陸、引用文獻

1. Miller, T. L. 2000. Precision Agriculture. http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/precisionag/
2. NCR 180 Site Specific Management, 2000. http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SiteFarming/ncr180.html
3. Parsons, N. J. 2000. Determination of the effect of soil organic matter content on the measurement of soil nitrogen levels with an ion-specific electrode. http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/SiteFarming/nitrate.html
4. Precision Agriculture: A comprehensive approach. 2000. Department of Biological and Agricultural Engineering. NC State University. http://www5.bae.ncsu.edu/programs/extension/agmachine/precision/
5. Stewart, C. 2000. The potential for variable-rate fertiliser application in cotton. http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/people/craig/craig_article.htm
6. Whelam, B., A. McBratney and B. Boydell. 2000. The impact of precision agriculture. http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/impact.htm

Chapter 3 Key Elements and Technology for Precision Agriculture

Chwen-Ming Yang
Crop Stress Research Laboratory, Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, 413 ROC

ABSTRACT

Conventional arable land management has developed towards managing fields uniformly while ignoring the inherent spatial and temporal variability found on most farmlands. The management practices have evolved from personal experience over generations. Strategy options are limited to reduce loss in crop production and decision making tends to over treat land with agrochemicals. As a result, deleterious effects on the farmland ecosystem, pollution of water resources, and human health problem etc. occur by the misuse of farming strategy. Precision agriculture, also known as precision farming, site-specific farming and prescription agriculture, is a management system enabled by the advent of applicable information and technologies with the goal of increased efficiency and economic gains in the agricultural activities. It is still a developing technology that integrates and modifies existing techniques to produce a new set of sophisticated system approach for the management of agriculture. With this framework, varied treatments are applied at a fine-scale local level and variability in soil and crops are precisely monitored, assessed, and treated. It is not necessarily to attain the maximum yield but may be to maximize financial advantage while operating to overcome environmental impacts. There will be a significant improvement on the use of management information and control systems and an increased efficiency of decision making and operation. Key elements for a successful precision agriculture are information, technology, and management with remote sensing, global positioning system, geographic information system, and variable-rate application technique as four most important technologies.

Key words:Precision agriculture, Precision farming, Site-specific farming, Key element, Key technology.

25 -52, 2000

第四章　稻生長與環境之精準管理

郭益全[1] 蔡金川[1] 蔣永正[2] 王鐘和[1] 張義璋[1] 余志儒[1]
[1]行政院農業委員會農業試驗所
[2]行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

摘要 ---------- 26
壹、前言 ---------- 26
貳、稻之生長 ---------- 27
參、稻之氣象 ---------- 31
肆、稻田雜草與其精準管理 ---------- 34
伍、稻之營養與其精準管理 ---------- 37
陸、稻之病害與其精準管理 ---------- 39
柒、稻之蟲害與其精準管理 ---------- 45
捌、結語 ---------- 48
玖、引用文獻 ---------- 49
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 52

第四章　稻生長與環境之精準管理

郭益全[1] 蔡金川[1] 蔣永正[2] 王鐘和[1] 張義璋[1] 余志儒[1]
[1]行政院農業委員會農業試驗所
[2]行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

摘　　要

稻一般多被認爲是半水生的一年生作物，雖然稻在熱帶或亞熱帶可存活一如多年生。在植物分類學上，稻被歸爲於禾本科(Family *Gramineae* or *Poaceae*)，稻屬(Genus *Oryza*)。稻從發芽至成熟收穫所需之生育日數變異頗大，因品種與生長環境而異，變域介於 100 至 210 天之間，一般約需 4-5 個月。稻之生長可分爲三個主要相或期，即營養生長相(期)；生殖生長相(期)及成熟相(期)。稻生長遭遇之生物性與非生物性逆境極多。非生物性逆境包含極廣，舉凡雨量、水分、風、溫度、土壤、農用藥劑施用、某些金屬及各類來源之污染物等。生物性逆境包含各類病蟲害、鼠害、草類、及羊齒類等。文中對稻之生長、農業氣象、雜草、植物營養、病害及蟲害逆境與管理等加以綜合討論。

關鍵詞：稻、生長、環境、精準管理。

壹、前　　言

稻一般多被認爲是半水生的一年生作物，雖然稻在熱帶或亞熱帶可存活一如多年生。在植物分類學上，稻被歸爲於種子植物門(Phylum *Spermatophyta*)，被子植物綱(Class *Angiospermae*)，單子葉亞綱(Subclass *Monocotyledoneae*)，穎花目(Order *Glumiflorae*)，禾本科(Family *Gramineae* or *Poaceae*)，稻屬(Genus *Oryza*)。稻屬植物繁多，公認有 2 個栽培種及 20 個(或謂 21 個)野生種(Chatterjee,1948)。廣泛分布在非洲、馬拉加西、南亞、東南亞、東亞、含澳大利亞之大洋洲、中南美洲等地區。

稻的栽培種(cultivated species)有亞洲地區的 *Oryza sativa* Linn(或稱亞洲種)，及非洲地區的 *Oryza glaberrima* Steud(或稱非洲種)等兩種。而 *Oryza sativa* Linn 則是世界栽培稻之最主要稻種，其又可細分爲秈型(或印度型, Indica)、稉型(或中國型, Sinica、日本型, Japonica、溫帶稉稻, temperate Japonica)及爪哇型(或熱帶稉稻；Javanica, tropical Japonica)等三型。亞洲種栽培稻由於其長約 5000 年之漫長栽培歷史、歷經人類在多樣的水-土-季節環境(hydro-edaphic-seasonal regimes)下之選拔或馴化，再加上人類無遠弗屆之散播，各類生態遺傳歧異(ecogenetic

diversification)極其豐富，適應性極廣，從北緯 53^0 到南緯 40^0;從水平面到海拔 3000 公尺；從深水到旱地皆可種植(Chang, 1976)。另方面，非洲種栽培稻受人類之有意干擾甚少，目前僅在西非有若干的栽培面積，且該面積正持續被亞洲種取代中。

臺灣地處亞熱帶，地形狹長，中央山脈橫貫南北，雨水豐沛，高溫多濕，極適稻之生長，長久以來，亞洲種栽培稻(*Oryza sativa* Linn)是爲臺灣最首要的糧食作物。而臺灣稻作之起源，依已發現各種史前出土遺物考証，雖可追溯到三、四千年前，但卻遲至十七世紀初業始有文獻可考。據「閩海贈言」書中"東番記"一文記載："東番夷人不知所自始...。無水田，治畬種禾，山花開則耕；禾熟，拔其穗，粒長比中華稍長，且甘香..."(西元 1602 年，明萬曆三十年)。可見，在西元 1602 年代臺灣先住民稻作栽培尙處於極原始之狀態(吳，1993)。此後，歷經：荷人治臺之招募大陸漢人農業移民及積極獎勵種植蔗、稻；明鄭以降大量漢人移居臺灣之陸續攜入稻種；大和民族據臺之有計畫引種暨改良；中華民國政府遷臺爲供應軍胥民食就稻作產業之一番作爲，臺灣之稻作於焉燦然。

以往，國內在稻相關栽培、農業氣象、雜草管理、植物營養、病害管理、蟲害管理等各領域之研究既廣泛也深入，各領域也均有獲具體研究成果之學者專家。唯，各領域之具體成果均無與地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技、及自動化農機操作系統聯結之數據，而無法於精準農業作業系統中直接被應用。本報告之目的即在綜論有關水稻生長、農業氣象、雜草、植物營養、病害及蟲害逆境與管理等各領域之研究成果，供我國水稻精準農耕體系研究計畫研擬暨實施之參考。

貳、稻之生長

一、稻之生長相

稻各品種從發芽至成熟收穫所需之生育日數(或稱生育週期)變異頗大，變域介於 100 至 210 天之間，一般約需 4-5 個月(Yoshida, 1981；Vergara, 1980)。在溫帶地區，從播種至收穫一般約需 130 至 150 天；而生育日數介於 150 至 210 天的稻品種通常爲感光性且被栽培於深水地區之品種；在熱帶地區，生育日數 120 天的品種則被認爲屬中熟品種。在臺灣，稻作年有兩期。一般推廣商業品種在一期作之生育日數爲 120-150 日；二期作爲 100-120 日。生育日數一期作約 120 日(或更少)，二期作約 100 日(或更少)之品種爲早熟品種。

稻之生長可分爲三個主要相(phase)或期(stage)，即營養生長相(期)(vegetative phase or stage)；生殖生長相(期)(reproductive phase or stage)；成熟相(期)(ripening or maturation phase or stage)[在一般稻書刊與論文中，相(phase)與期(stage)常被混用，惟嚴格言，兩者應有所區隔--著者]。生理上，此三個主要生長相可進一步被區分爲各種時期(stage)或期間(period)。以一個被種在熱帶地區的 120 天品種爲例，營養生長相約爲 60 天；生殖生長相約爲 30 天；成熟相亦約爲 30 天(如圖 1)。

1.營養生長相：

稻株之營養生長相始於稻種發芽，終於穗始原體形成(panicle primordia initiation)，而由稻種發芽至穗始原體形成之此段期間即所謂營養生長期。營養生長相的特色是分蘗急增、株高漸高及葉片定期發生。如圖 1 所示：稻種歷經發芽、移植、成活後，分蘗(tiller)開始出現(分蘗通常在主桿長約 5-6 片葉時開始萌發)。分蘗盛期(active tillering stage, 指單位時間內分蘗數增加最劇之時期)、最高分蘗期(maximum tiller number stags, 指每平方公尺或每株之分蘗達最高之時期--約在穗始

原體形成之前或之後，因品種而異)緊接著魚貫而來。

而由於稻株達最高分蘗期後，分蘗之數目會有所低減，故在最高分蘗期之前有一個稱有效分蘗終期(end stage of effective tillering,指已萌發之分蘗數目與收穫時之穗數相同之時期)的生育期出現。一般，由秧苗開始萌發分蘗到有效分蘗終期之期限間稱有效分蘗期(effective tillering stage)，因在本期間所萌發之分蘗均可抽穗。而由有效分蘗終期至穗始原體形成前之時期稱無效分蘗期(ineffective tillering stage)，此期間所萌發之分蘗通常無法抽穗形成稻穗。

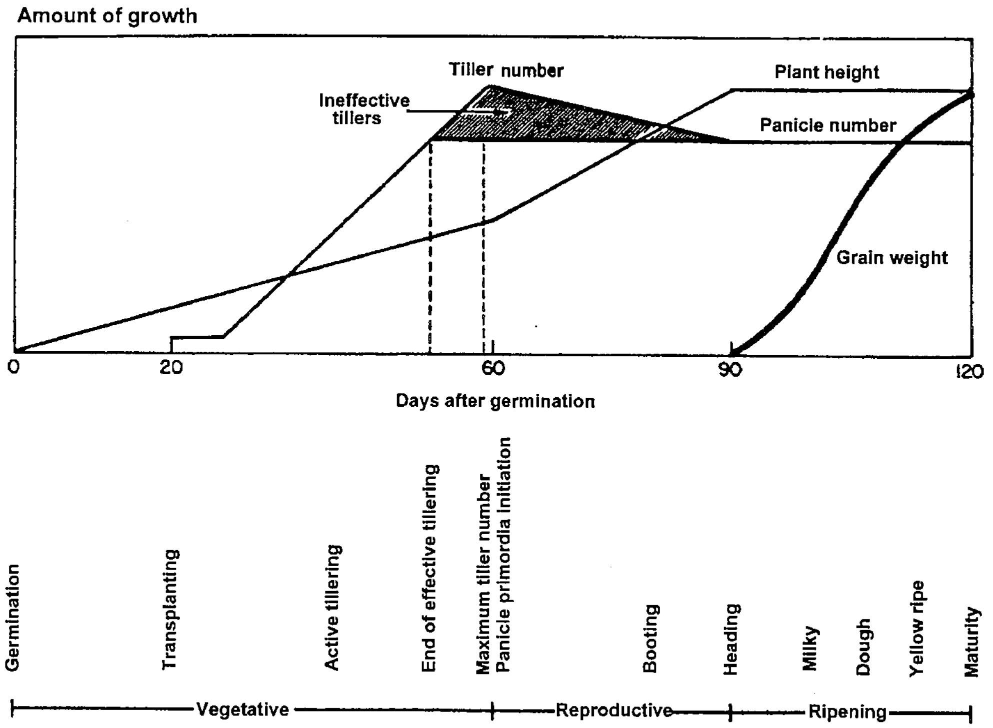


Fig. 1. Life history of a 120-day variety grown in the tropics under the transplanting cultivation system (schematic).

2.生殖生長相：

稻株之生殖生長相始於穗始原體形成，終於開花(flowering or anthesis)。本期間的生長特徵由莖桿伸長(一般在穗始原體形成期後開始顯著，而止於抽穗且僅上5個節間能顯著伸長)，而劍葉(止葉, flag leaf)出現、孕穗(booting)、抽穗(heading)，而終於開花。而整個生殖生長相大致又可分成穗始原體形成期、穗發育期(panicle development stage)及授粉受精期(pollination and fertilization stage)等三個重要生育階段。穗始原體形成期之發生通常可回溯至抽穗前30天(而一般農藝學家所稱之施穗肥即在抽穗前25天追施氮肥，此時穗始原體長約1mm)。孕穗是穗發育期最後之一個生育階段，一般在穗始原體可見後約16天顯現，此時劍葉葉鞘因穗之日見長大而逐漸膨大，終而稻穗從劍葉葉鞘伸(突)出。稻穗從劍葉葉鞘伸出之狀態即謂之抽穗，稻穗小穗花之開花常常

與稻穗之抽出同步或於抽出稍後發生，因之，在稻生活史中，抽穗往往與開花同義。小穗花開花後，授粉受精現象發生，穀粒開始充實發育，稻株由生殖生長相轉入成熟相。

3.成熟相：

稻株之成熟相是始於開花，終於成熟(maturity)。成熟相之生長特徵是穀粒之生長與葉片之老化(senescence)。整個成熟期大致又可區分爲乳熟期(milk stage)、糊熟期(dough stage)、黃熟期(yellow ripe stage)及完(成)熟期等。小穗花受精後穀粒開始出充實，開始時內含物呈水狀乳白色，是爲乳熟期；再而轉濃稠，是爲糊熟期；繼而穀粒漸漸變黃，形成所謂黃熟期；在穀粒達完熟期時，葉片概老化成黃色(但有些品種在達完熟期時葉片仍保持濃綠)。成熟期之長短受溫度影響很大，在熱帶約 30 天，在溫帶則有 65 天之紀錄。

稻之基本生活史會因地、因時、栽培方式等有所變異：首先，稻株全生長周期之差異主要是營養生長期間之改變。此即任一品種在任一環境下，生殖生長期與成熟期可被視爲固定。尤有進者，在移植栽培制度下，學者們(Tanaka *et al*., 1964)習慣將稻株之營養生長期間進一步區分爲：營養生長盛期(active-vegetative stage)及營養生長遲滯期(vegetative-lag stage)。而所謂營養生長盛期係指秧苗移植於本田至最高分蘗期之期間；而營養生長遲滯期則指最高分蘗期至穗始原體形成期之期間。據 de Datta(1981)與 Yoshida(1981)之論著指出：一般光鈍感早熟品種之最高分蘗期、節間伸長期及穗始原體形成期約爲同步(且往往穗始原體形成期可能發生在最高分蘗期之前，抽穗也較參差不齊)；而生育期長的品種則最高分蘗期、節間伸長期及穗始原體形成期依序發生[即最高分蘗期會發生在穗始原體形成期之前，此稱遲滯營養生長期間(lag vegetative period)]。至於營養生長期較適中之品種，則穗始原體形成期緊接在最高分蘗期之後，此類品種在熱帶地區即爲 120 天之稻品種。

其次，由於移植時生長傷害之故，移植栽培稻株開始分蘗之直播時期較栽培來得晚。同時，直播栽培制度下，每稻株通常僅萌發出 2-5 個分蘗；而移植栽培者，每單株可萌發 10-30 個分蘗，故而，直播稻之分蘗力(tillering)較不重要。

最後，同一品種在移植與直播栽培等兩方式之生育期間可能會有稍稍差異，移植栽培方式下，稻株通常需一些時間來回青(即癒移植過程中之一切傷害並發新根重新生長，即成活)，在常遭寒流與低溫狀態下，約需 1 星期或更久(視低溫之程度與持續期間而異)，在臺灣二期作狀態下則僅約需 3 天，稻株即可回青。

二、稻生育時期與產量之關係：

稻穀產量是由單位面積穗數、一穗粒數、成穀率及千粒重等四個因素構成。因此，欲得高產，必先瞭解那一個生育時期是此四個產量構成因素是主要決定關鍵，才能針對此期間進行精準管理。一般，營養生長期爲單位面積穗數之主要決定期間；生殖生長期爲每穗粒數決定之關鍵期；而成熟期則爲關係粒重與成穀率之關鍵期(如圖 2)。

由稻種發芽開始至有效分蘗終期之期間是決定單位面積穗數之重要時期，在此段期間之氣象、營養狀態等外在環境之良否，對穗數之構成均有影響力，其中以最高分蘗期爲最是關鍵。

一穗粒數之多少係在幼穗形成期及孕穗期所決定。而幼穗形成期包含穗頸、穗軸、枝梗及穎花等器官分化之時期。孕穗期爲幼穗各器官之生長及生殖細胞之分化時期。在幼穗形成後之穎花，並非均能繼續生長與開花結實，在此段時間若遭遇不利環境(尤其在減數分裂前後之環境)，諸如低溫、土壤中養份與水份缺乏時，則穎花易發生退化而消失。因此可謂：幼穗

形成期為一穗穎花之增殖時期；而孕穗期則為已分化之穎花生長與退化作用之決定時期。故一穗粒數之多少，完全依據生殖生長期這兩個增加與退化要因之互相加減而決定之。在此期之植株，含氮量多少與一穗粒之多少成正直線迴歸。光合作用活性之大小，在生殖生長期也同樣可控制一穗粒數之多少。

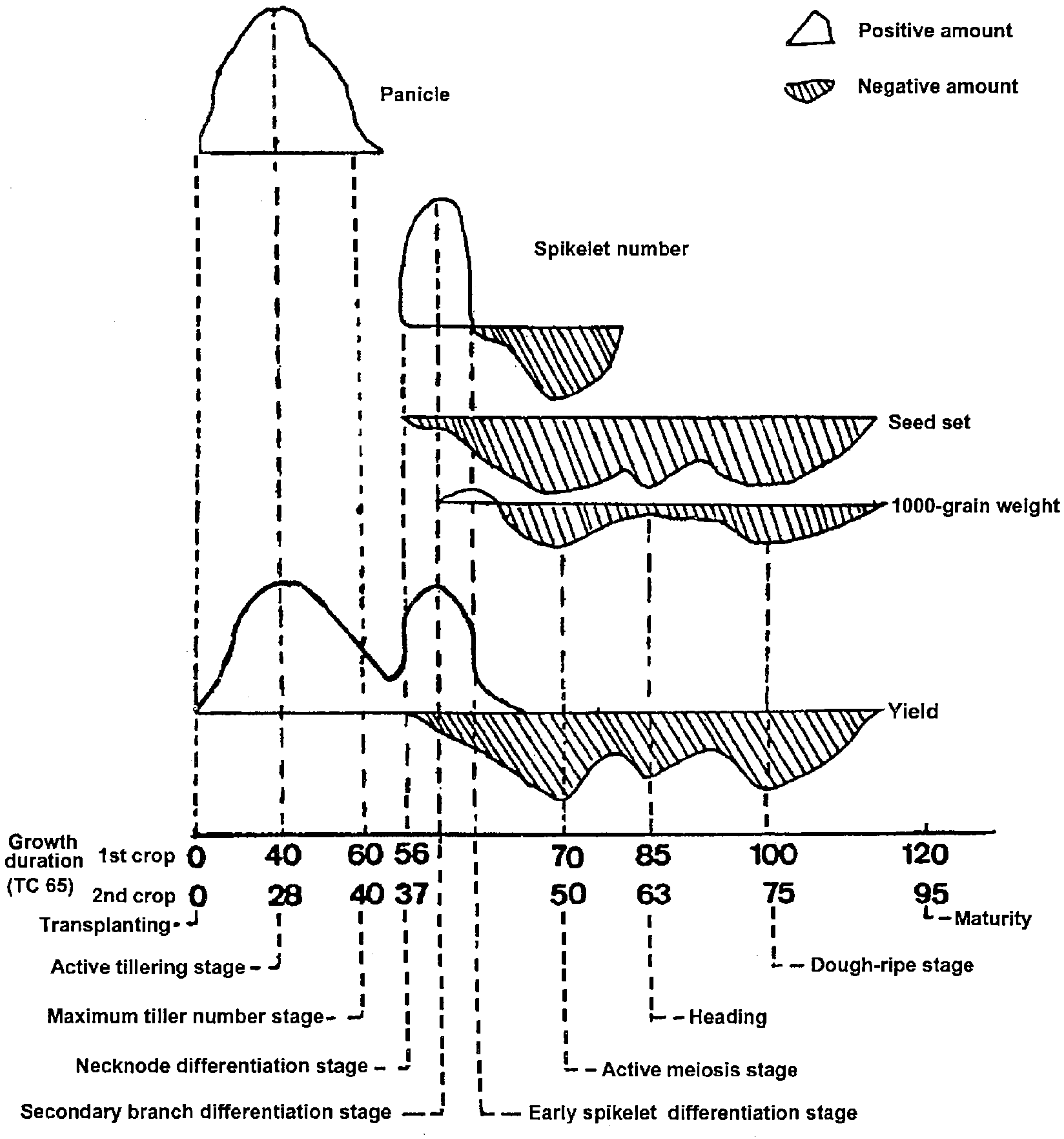


Fig. 2. Development of yield potential and yield components of rice.

自穗頸分化始期至黃熟期之期間，尤其在減數分裂盛期、抽穗期及糊熟期時，若遭遇低溫或缺水等惡劣環境，甚易失去授精機能、或子房內之養份轉移惡劣，而

造成不稔實粒及不完全稔實粒。故，穎花之大小與胚乳之肥瘠兩因素可用來決定穀粒之重量。而穎花之大小，係以穎花分化期前及減數分裂時之環境影響最劇。若土壤中養份充足或視植株葉片綠色程度合理加施穗肥，可使其穎花之大小增加。胚乳之肥瘠在抽穗後至黃熟期之間爲關鍵期，尤以糊熟期之環境(如低溫、風害、缺水、病蟲害等)均可導致粒重之減低。

總上可知，在整個水稻生活週期中或多或少均可影響到稻穀之產量，其中以分蘗盛期、第二枝梗分化期、減數分裂盛期、抽穗期與糊熟期最爲關鍵，尤以環境惡劣及栽培管理不適當時更爲嚴重。前兩個時期，若遇合適之環境與給予合宜之栽培管理，則可使穗數與穎花數顯著地增加；但後三個時期一般甚易造成穎花退化數量之增加，成穀粒及粒重之減低。因此，如何防止一穗粒數、成穀率與粒重之退化，即爲稻穀增產之有效途徑。

參、稻之氣象

一、稻生長發育之氣象因素：

所謂氣候(climate)是某一段特定期間內之大氣狀態，而氣象(weather)是某特定時間之大氣狀態，兩者之差異在時程之相對長短。此即，時程相對長者爲氣候；相對短者爲氣象。惟，不論氣候或氣象，人類只能預測，無法主導，且因地因期而異。雨水、日射量、日長、溫度、相對濕度、風等是一般被認爲與作物生長有關之氣候因素，茲通論式簡述稻作生長與各該氣候因素之關係如下：

1.雨水(rainfall)：

植物必需有相當之水份，始能發芽生長。水對稻各生育期之生長更有不同的意義。水稻一生幾乎全期生長在田面湛水(flooding)之狀態下；陸稻則與水稻完全相反，田面無水貯留，全賴雨水爲惟一之水份來源(De Datta, 1981)；深水稻及浮稻之主要生育期恰逢洪水期(flooding period)，此期間之雨量往往超過 1.1m(Catling *et al*., 1988)。由於稻栽培之水份條件與來源有如此之變異，且就大多數稻生產區而言，雨水爲最主要之水份來源，因之 De Datta(1981)指出：稻之栽培往往依水供應之來源而被分成看天(rainfed)與灌溉(irrigated)栽培等兩大類。而看天栽培又可進一步區分成：看天水稻(rainfall lowland rice)、深水稻(deepwater rice)、浮稻(floating rice)及陸稻(upland rice)等四種主要之栽培體系。

2.日射量(solar radiation)：

Yoshida(1981)指出稻株各個生育期之日射量需求不同，營養生長期(vegetative growth stage)間遮光對產量構成要素與產量之影響甚微；生殖生長期(reproductive stage)間遮光則對一穗穎花數有極大之影響；穀粒成熟期(ripening stage)間遮光則因成穀率低降而導至減產。亦即，生殖生長期之日射量對稻穀產量之影響最著；其次爲穀粒成熟期；而以營養生長期之影響最小。強光下稻之株高雖受抑制，但分蘗數增加，莖重、穗數、總粒數及成穀率均因之加大，因而日射量對稻米之產量與品質影響甚鉅。

3.日長(day length)：

稻一般被歸類爲短日作物，對光期非長敏感，長日將阻止或延遲開花(Vergera and Chang, 1976))，當日長降低至臨界點(critical point)，感光稻品種即開花，該稻品種之生育期間因之改變，改變之幅度視該品種對光期敏感度(photoperiod sensitivity)而定。此種因日長而改變之反應最主要是經由基本營養生長模式(basic vegetative growth pattern)之改變。現存稻品種間之日長敏感性差異極大，有些品種屬光期鈍感或中性；有些爲弱感光；有些感光性極強，而現行改良之商業品種幾已全呈光期鈍感。弱感光品種由種植至收穫

之全生育期間因日長變異所引起之改變甚小；但強感光品種僅僅可在長日長環境下被栽培達一定期間，否則收成定成問題，此因強感光品種在日長長過或短於最適日長時，將造成開花延遲。前已述及，雖然現存稻品種間之光期敏感性差異極大，但迄無長日稻品種發現(Chang and Vergera, 1972; Vergara and Chang, 1985; Mikkelsen and De Datta, 1991)。

4.溫度(temperature)：

稻爲原生於熱帶之糧食作物，最適合被栽培於陽光充沛及平均溫度 20-38^{0}C 之地區。極端溫度(extreme temperature)破壞稻株之生長，Yoshida(1981)專論指出：稻正常生長發育之臨界低與高溫度分別爲低於 20^{0}C 及高於 30^{0}C，視生育期之不同而改變；臨界溫度也視品種、臨界溫度期間、日變化及植株生理狀態而異。處於花粉母細胞正值減數分裂期的供試稻株，低於 20^{0}C 溫度將導至較高的穎花不稔率，但品種間差異極大。如不耐低溫的農林 20 號 15^{0}C 低溫處理 5 天，51%穎花不稔；耐低溫的 Hayayuki 在相同之處理條件下，穎花不稔率僅有 5%。而花粉母細胞正值減數分裂期之最後 2 天的 12^{0}C 低溫處理，並不影響穎花稔實率；最後 6 天的 12^{0}C 低溫處理，穎花 100%不稔。低溫誘至不稔係肇因於低夜溫，相對高日溫可減少低夜溫之傷害。花粉母細胞正值減數分裂期夜溫 14^{0}C 處裡 9 天，日溫亦爲 14^{0}C 時，穎花不稔率 41%；日溫 26^{0}C 時，穎花不稔率爲 12%。旱田培育之稻秧有較高之澱粉與蛋白質含量，因而根系較水田培育之稻秧強大，因此，旱田秧苗可在日平均溫度 13-13.5^{0}C 下來移植；水田秧苗則需在日平均溫度 15-15.5^{0}C 條件下來移植。

5.相對濕度(relative humidity)：

相對濕度指大氣中之水蒸氣含量。在熱帶，相對濕度對稻株之影響往往與日射量及溫度混淆不清(De Datta, 1981)。一般咸認相對濕度與稻穀產量無直接關，但因爲相對濕度與露水之形成有關，而長露期(long dew period)往往增加稻株罹患稻熱病(blast)之機會，在這種情況下，高相對濕度之效應往往與造成長露期的另一個因子--低夜溫混淆。

6.風(wind)：

風乃空氣之流動。De Datta (1981)指出：稻之光合作用因風速度增加而提高，但風速超過 0.75-2.25cm sec^{-1} 則無此提高稻光合作用之效用。因此，稻株生育期間，和風徐徐增加稻株冠(canopy)氣流之流動，增補稻株周遭二氧化碳之含量而有助稻穀產量之提高。另方面，強風可導致葉片機械傷害；如發生在抽穗後，往往造成嚴重之倒伏(lodging)與損毀、稻穗脫水(desiccation of panicle)、穎花不稔等現像；強風往往也加速稻細菌性葉部病害(bacterial leaf diseases) 之傳播。而熱帶暴風如颱風或颶風等除風速超強外，往往尙挾帶大量雨水，對稻株之傷害更大。其它如鹽風與焚風概直接造成稻株葉片或穗之傷害，進而影響稻穀產量(De Datta, 1981; Mikkelsen and De Datta, 1991)

二、水稻生長期間氣象因素與產量之關係

臺灣稻作年有兩期，一期作生育前期的氣溫及日射量較低，水稻之生育、生長緩慢甚或受冷害，分蘖的形成受阻。而二期作生育初期的高溫、高日射量，一般認爲是抑制分蘖數致使穗數減少的主要原因，尤其北部地區生育中期以後氣溫下降至均溫 19℃左右，日射量亦降低常在 200 cal cm^{-2}day^{-1} 以下，可能影響光合作用及同化物質的轉流（謝，1979），致使穀粒充實率及千粒重降低（蔡，1978）。蔡（1978）曾在水稻各生育時期，以遮光及溫度處理，發現氣象因子（寡日照、高溫或低溫）對於水稻各生育時期產量構成要素會有不良影響，分別爲水稻移植後 40～45 天會減少穗數，抽穗前 7～14 天會減少穎花數，結實率、千粒重及抽穗後 21～28 天會減少

結實率、千粒重。另據松島（1972）所述，穎花始原體分化後期至花粉母細胞充實期再至花粉母細胞減數分裂後期之期間，分化成的第一、第二次枝梗及其穎花最容易因低溫或高溫而退化。另方面，蔡（1954）指出高溫對穀粒充實率的負方向影響是因呼吸的消耗爲其主要原因；而松島（1972）則認爲低溫對於水稻養分吸收以及轉運等的生理作用有阻礙作用，引起同化作用的降低，可能因此降低千粒重。

圖 3 及 4 爲農試所農工系農業氣象研究室多年來在臺中地區研究所建立：水稻品種臺農 67 號一、二期作生育過程之模式及其預警系統。由圖 3 所示，一期作，臺

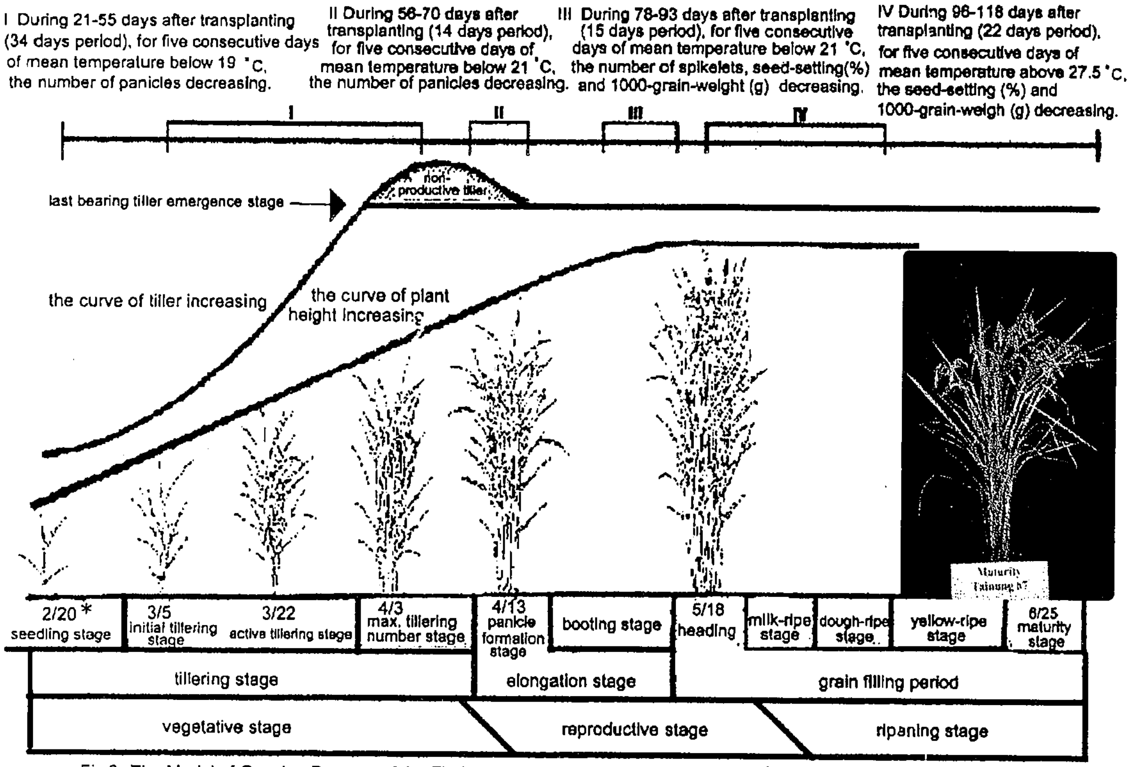


Fig 3. The Model of Growing Process of the First Rice Crop (variety: Tainung 67) and its Warning System in Taichung Area.
＊ : month/day

農 67 號在分蘖始期至最高分蘗期(移植後 21-55 天)之期間(34 天)內，若有連續 5 天溫度低於均溫 19.0℃時，低溫會抑制稻株分蘗，致使穗數減少。幼穗形成期(移植後 56-70 天)之期間(14 天)內，若有連續 5 天溫度低於均溫 21.0℃，低溫會提高無效分蘗致使穗數減低。在孕穗期(移植後 78-93 天)之期間(15 天)內，若有連續 5 天溫度低於均溫 21.0℃，低溫則會降低一穗粒數、穀粒充實率及千粒重。至於抽穗開花期至穀粒充實期(移植後 96-118 天)之期間（22 天）內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.5 ℃，高溫會減低穀粒充實率及千粒重。

二期作時，臺農 67 號在分蘗始期至最高分蘗期(移植後 13-43 天)之期間(30 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 28.0℃時，高溫會稻株分蘗被抑制，致使穗數減少。幼穗形成期(移植後 45-53 天)之期間(8 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.5 ℃，高溫會提高無效分蘗致使穗數減低。在孕穗期(移植後 60-74 天)之期間(14 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.0℃，則會降低一穗粒數、穀粒充實率及千粒重。至於抽穗開花期至穀粒充實期(移植後 77-97 天)之期間(20 天)內，若有連續 5 天溫度高於均溫 27.0℃或低於均溫 21.0℃，

都會減低穀粒充實率及千粒重。

綜合圖 3 及 4，則可瞭解臺中地區一、二期作水稻品種臺農 67 號之產量構成要素（穗數、一穗粒數、穀粒充實率、千粒重）形成對於溫度之敏感期及每個敏感期之溫度對於產量構成要素的影響情況。再配合其他水稻生育過程（成活期、分蘗始期、...、成活期）及分蘗增加曲線、株高遞增曲線與有效分蘗進入無效分蘗，這不但可當稻作生產（產量及其構成要素）的預警、預測應用，還能作爲水稻生育成長分析的指標。並可作爲水稻栽培管理（施肥、灌排水等）即如何避開生育過程敏感期的氣溫之惡劣影響之耕作方法等，與水稻育種篩選耐低溫或高溫的優良品種或品系的參考依據。

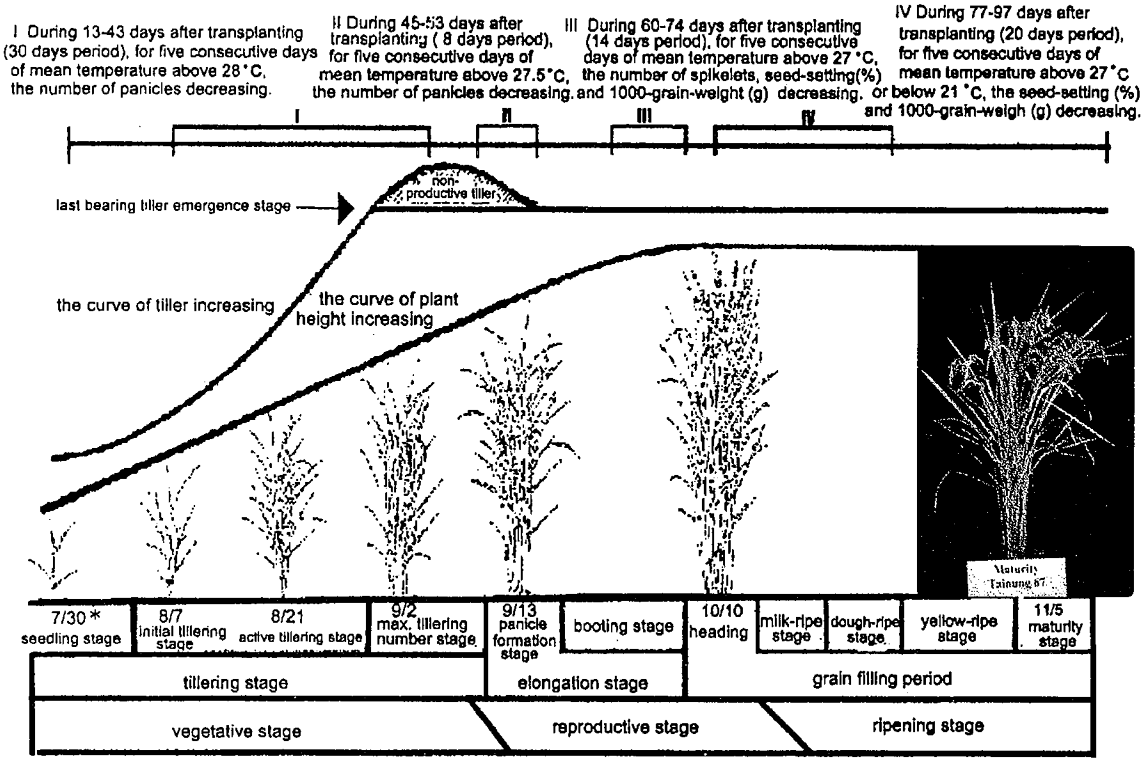


Fig 4. The Model of Growing Process of the Second Rice Crop (variety: Tainung 67) and Its Warning System in Taichung Area.
* : month/day

肆、水稻田之雜草與其精準管理

一、臺灣之稻田雜草

廣義而言，凡是影響到人們當時所栽植作物收量的其他植物，均可稱之爲雜草，如自生稻在非水稻田內發生時則視爲雜草。而本節所述則以臺灣地區之狹義雜草爲主。一般而言，水生雜草依其生長型式分爲浮水型、挺水型及沉水型，而水稻田常見之主要雜草大部份爲挺水型，即根部著生於土中，地上部枝葉大部份露出水面，諸如稗草(*Echinochloa crus-galli*)、螢藺(*Scirpus juncoides*)、球花蒿草(*Cyperus difformis*) 、 鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*)、野茨菰(*Sagittaria trifolia*)、水莧菜(*Ammannia baccifera*)、母草(*Lindernia pyxidaria*)、紅骨草(*Rotala indica*)、尖瓣花(*Sphenochloa zeylanica*) 及 雲 林 莞 草 (*Scirpus planiculmis*)等是。浮水型雜草有青萍 (*Lemna paucicostata*) 、 槐 葉 蘋 (*Salvinia natans*)及滿江紅(*Azolla pinnata*)等。此外，如芒稷(*Echinochloa colona*)、

千金子(*Leptochloa chinensis*)、雙穗雀稗(*Paspalum distichum*)、碎米莎草(*Cyperus iria*)、鋸葉定經草(*Lindernia ciliata*)及滿天星(*Alternanthera sessilis*)等，由於水田整地趨於粗放，及淹水或保水的管理不佳，亦有從田埂蔓延至田區內，逐漸成爲重要的防治對象(表 1)。

表 1. 臺灣水田常見雜草簡要特性.

類別 名稱	繁殖特性	發生位置	島內分佈	危害潛力	藥劑防治	總重要性
滿天星 *Alternanthera sessilis* R. Br.	sv	lp	3	1	3	2
水莧菜 *Ammannia baccifera* L.	s	p	2	3	1	2
多花水莧菜 *Ammannia multiflora* Roxb.	s	p	2	3	1	2
球花蔄草 *Cyperus difformis* L.	s	p	3	3	1	3
碎米莎草 *Cyperus iria* L.	s	pl	3	3	1	3
芒稷 *Echinochloa colona* (L.) Link	s	pl	2	3	1	3
稗草 *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.	s	p	3	4	1	3
鱧腸 *Eclipta prostrata* L.	s	l	3	2	1	1
溝繁縷 *Elatine triandra* Schk.	vs	p	2	1	1	1
水蝨草 *Fimbrystilits miliacea* Vahl.	s	pl	2	2	2	3
千金子 *Leptochloa chinensis* (L.) Lees	s	pl	3	2	1	2
鋸葉定經草 *Lindernia ciliata* (Colsm.) Pennell	s	pl	3	2	1	1
母草 *Lindernia pyxidaria* All.	s	pl	3	2	1	2
喇叭草 *Ludwigia prostrata* Roxb.	s	pl	2	2	1	2
水丁香 *Ludwigia ocatavalis* (Jacq.) Raven.	s	pl	2	2	1	2
鴨舌草 *Monochoria vaginalis* Presl.	s	p	3	4	2	3
自生稻 *Oryza sativa* L.	s	p	1	2	2	1
匍地黍 *Panicum repens* L.	v	l	2	1	nc	1
雙穗雀稗 *Paspalum distinchum* L.	v	lp	3	3	nc	2
印度水豬母乳 *Rotala indica* (Willd.) Koehne	sv	p	3	2	1	2
瓜皮草 *Sagittaria pygmea* Miq.	vs	p	1	1	3	2
野慈菰 *Sagittaria trifolia* L.	sv	p	2	3	3	3
螢藺 *Scirpus juncoides* Roxb.	sv	p	3	3	2	3
雲林莞草 *Scirpus planiculmis* Fr. Schmidt	vs	p	2	4	4	3
尖瓣花 *Sphenoclea zeylanica* Gaerth.	s	p	1	3	2	2

[1] 繁殖特性- s:種子，sv:種子為主，營養器官為次，v:營養器官，vs:營養器官為主，種子為次。
[2] 發生位置- p:田區內，pl:田區內為主，田埂為次，l:田埂，lp:田埂為主，田區內為次。
[3] 島內分佈- 1:地區性，2:全島低比例（含地區性高比例），3:全島高比例。
[4] 危害潛力- 1:低，2:中，3:高，4:極高。　[6] 總重要性-1:次要,2:主要,3:主要+嚴重。
[5] 藥劑防治（對水稻安全之選擇性除草劑）- 1:萌前藥劑效果優，2:萌前藥劑效果可，3:萌後藥劑效果優，4:萌後藥劑效果可，nc:選擇性除草劑無效。
[6] 總重要性- 1:次要，2:主要，3:主要+嚴重。

水稻田經耕犛、整平、湛水後，土壤中之雜草種子或營養繁殖體開始萌芽，多數一年生草子由表土 1 cm 之氧化層長出，萌芽快速而整齊，易受除草劑的影響(Zimdahl *et al.*, 1988)；多年生之球莖或走莖等營養繁殖器官的萌芽，則不限於表土淺層且萌芽期分散，藥劑的防治效果較差(蔣及呂，1982；Yamasue and Ueki, 1983)。

本省一、二期作水稻整地前田面狀況及初期之氣溫差異大。一期作田面常有大量之冬生型旱田草，二期作則多爲稗草及自生稻。溫度的差異影響雜草的萌芽整齊度及生育，一期作低溫下萌芽慢且期間長，其在整地後 60 日之營養生長速率如株高及生物量，約與二期作整地後 30 日者相當(Chiang, 1983)。期作間草相亦有差別；如野茨菰多發生於一期作，鴨舌草、紅骨草、尖瓣花及芒稷則在二期作較多。南北不同區域間因溫度及田間操作管理的差異，亦導致某一雜草地區性的局部發生，如野茨菰集中於桃竹苗地區，瓜皮草分布於苑里、大甲一帶，水莧菜及尖瓣花在中南部發生較多，雲林莞草則主要在中部濱海水田中(蔣及呂，1982)。但近年來在代耕方式的盛行下，遭受雜草種子或營養莖污染的農機具或秧苗，會加速繁殖力強的雜草散布，同時在使用類似除草劑防治手段下，地區間草相的差異有不明顯的趨勢，如雲林莞草已拓展至臺東地區。

二、雜草的危害

雜草之所以會成爲栽培管理上的害物(pest)之一，即因爲在田間發生時會干擾作物的正常生育，而雜草爲害分爲競爭與非競爭兩類。競爭爲害主要是指雜草與稻株競爭光照及養份。雜草對光的競爭以稗草爲最強，稗草爲 C_4 型植物，生長速率較水稻快，整地後萌芽之稗草在生育中期即高過水稻，造成遮蔽導致穀粒數及稔實率降低。野茨菰、螢藺及球花蒿草在移植田通常較稻株矮，不致造成頂上遮陰，但仍可減少植株中下層葉片之受光量，匍伏型及矮生型雜草多不具對光之競爭力。

養份的競爭爲雜草影響作物生育最明顯之爲害，移植後 40 日之水稻、稗草、球花蒿草及鴨舌草之含氮量分別爲乾物重之 1.69、1.23、2.02 及 2.53%(Chisaka, 1977)；因此水田中如有高密度雜草發生時，對養份的競爭是極爲可觀的。雜草競爭引起水稻生育不良、分蘗減少、株型改變及抽穗延遲；導致產量損失主要和穗數及每穗粒數的降低有關，粒重及稔實率所受的影響較少(Chang, 1970)。至於競爭減產程度因雜草的種類、密度、競爭時期、作物品種、栽培方式及氣候環境等條件而改變，田間實際發生的減產範圍在 10-90% 之間。Chiang 及 Leu(1981)分析資料顯示：不除草導致之平均減產程度在移植稻及直播稻分別爲 16 及 62%。移植稻通常採用 4-5 葉齡之秧苗，移植同時田間雜草尙處發芽或萌芽時期，故移植稻在競爭上佔有先天的優勢，整地後陸續萌發之雜草，因水稻不斷的生長，愈晚長出之雜草競爭力愈弱。雖然雜草潛在爲害力很高，但在本省稻作栽培體系已進入成熟制式階段，實質上因競爭造成之減產仍屬有限。

雜草在田間造成的非競爭性爲害，大部份爲間接的干擾；在水田或其四周環境發生之水稻病原及害蟲，可以雜草爲寄主植物或棲息場所，而增加病蟲害發生的機率及爲害程度；如傳播水稻毒素病之黑尾浮塵子可在稗草、牛筋草、看麥娘及狗牙根上過冬，並能在畫眉草(*Eragrostis atroviens*)上完成生活史，而在此草附近出現高密度之族群。水稻紋枯病菌所產生之菌核附著在雜草後即發芽侵入，雜草上紋枯病之菌核亦能傳播此病。根據本省文獻記錄，稻熱病、紋枯病、黃萎病、小球菌核病、白葉枯病、白尖病、黑尾浮塵子、縱捲葉蟲、稻細　、二化螟、稻稈蠅、鐵甲蟲、黑椿象等水稻病蟲害之病原及害蟲均可以雜草爲寄主(蔡，1991)。此外水田

田埂、溝渠、農路雜草掩蔽處常為老鼠棲息處，除破壞水路引起灌排水問題外，亦常於中後期侵入田中危害水稻。雜草所發生之毒他作用(Allelopathy)亦為非競爭性危害之一種 (Premasthira and Zungsonthioporn, 1995)。水田整地前田面所滋生之雜草，於整地時翻犛至土中後，植物殘質所釋出之酚類等二次代謝產物，可導致水稻秧苗的生育不良。

三、雜草之精準管理

現代的雜草防治觀念已由"管理"取代傳統之"根除"，在符合經濟防治水準的原則下，於作物敏感生育期間，結合栽培體系及藥劑施用等綜合防治策略，長期而持續的控制草量至可接受程度，如此不但可提供作物較佳之生育空間，同時亦不會濫用藥劑造成環境的負荷。此防治的重點著重於壓制其茂盛的繁殖力，同時考量經濟效益達到省時省工的管理策略。

傳統上，臺灣之稻栽培對雜草之控制主要以化學除草劑為主，其他田間作業及非藥劑防治為輔助。1960 年代後期本省水田開始使用除草劑，70 年代結束前藥劑除草之比率已達 100%(Chiang and Leu, 1981)，登記的藥劑多達數十種，這些除草劑對移植稻均相當安全；依推薦之用量及方法，可防治大多數一年生雜草(Minton, *et al.*, 1989)。每期稻作僅需在移植後數日內施用一次萌前除草劑，對 1-2 葉期之雜草效果最好；發育超過 2-3 葉之雜草，對萌前藥劑之忍受力會明顯增強，因此必須掌握時機適時施藥，才能達到預期之防治效果。夏季高溫下，田間雜草萌芽生長快；二期作施用萌前殺草劑之時間須較一期作為早(Chiang, 1994)。現有之除草劑對直播稻之安全性不足，易造成水稻缺株及苗期之生長抑制，為減少除草劑藥害，直播田需整地平坦及灌排水均勻，並將推薦用量在播種前後分兩次各以半量施用。萌前藥劑施用後，少數未被殺死之雜草可用人工清除，如有高密度之闊葉雜草殘存時，則需補施百速隆(pyrazosulfuron)、免速隆(bensulfuron)或本達隆(bentazon)等萌後作用較強之藥劑。田區中多年生闊葉草嚴重或農時延誤田間雜草已達 3-4 葉時，可逕行選用百速隆或免速隆來防治(Chiang and Leu, 1987; Takeda *et al.*, 1985)。田間稗草如已發育至 3-4 葉以上，目前僅除草寧（propanil）可防治大於苗期之稗草；此藥劑在本省因需求量小，市面上難以取得，除草寧會受有機磷或氨基甲酸鹽類農藥之影響，導致水稻嚴重之藥害，使用時需特別注意。一般農路、田埂、畦畔及整地前田面雜草之防治，主要以巴拉刈及嘉磷塞兩種非選擇性除草劑，但施用時不可噴及水稻及鄰近其它作物，以免造成藥害。

管理良好之田區，土壤中所含雜草種子量少。雜草之危害程度低，防治作業也較單純。維護田區四周及灌溉溝渠之清潔，可減少有害雜草種子及營養繁殖體傳入田內。危害潛力高而防治困難之雜草，如雲林莞草及瓜皮草等多年生草，主要依靠整地之農機具將其走莖打斷加速散佈，目前僅在部份田區發生，因此未被危害之田區應預防其侵入，一旦發現須在初期予以根絕，以減輕日後經常性防除之額外負擔。水田整地及水管理等作業，也會影響藥劑的防治效果及雜草發生之種類與數量，田面整平有助於粒劑除草劑的均勻散佈發揮藥效；漏水及輪作水田內芒稷及一些偏旱生型之雜草較多，移植後數週內如能保持田區內湛水狀態，則可免除或減少這類雜草的危害。多年生水田雜草之營養繁殖器官不耐乾燥，在乾旱休耕期翻鬆土壤，營養繁殖體易脫水而死，降低後作田區中多年生草之密度(本文主要依據蔣慕琰博士發表之"臺灣水田雜草生態及防治"-行政院農委會農業藥物毒物試驗所 51 號技術專刊改寫，謹表謝忱)。

伍、稻之營養與其精準管理

一、稻之植物營養

如其他作物，稻之栽培除了必需適時適量供應二氧化碳、氧氣、水及 13 種營養要素外，尙需足夠之矽，稻株才能正常生長、開花、結果，獲得理想之產量與品質。這些必需要素在稻株體內都有其特定而無法替代之生理功能：

(一)構成稻體：如碳、氫、氧、氮、磷、硫，爲各類碳水化合物、核酸、蛋白質、脂肪等的組成分：

(二)爲酵素之組成分或催化酵素反應：如鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅、鉬。

(三)維持細胞之膨壓及電解質平衡：如鉀、鈣、鎂、氯。

(四)維持細胞膜之完整性或控制某些生理、生化反應之路徑：如鈣、硼、氯。

以上碳、氫、氧、氮、磷、硫、鉀、鈣、鎂、鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼及氯即被稱爲作物正長發育所需之 16 種必需元素(essential element)。其中碳、氫、氧爲構成細胞之基本成分，在植體中含量最多，合計約占作物乾物重之 90%。氮、磷、硫、鉀、鈣、鎂則約在 0.1-5%之間。而氮、磷、鉀三種要素因稻株之需求量比較大且土壤中之有效含量常不夠作物正常生長之所需，需要靠施肥來補充，故，氮、磷、鉀就被稱爲肥料三要素；而鈣、鎂、硫需要量次之，故被稱爲次量元素。至於鐵、錳、銅、鋅、鉬、硼及氯在植體中之含量甚微，故被稱爲微量元素。而矽雖不爲作物生長所需之 16 種必需元素之一，但因爲矽可增強稻株之直立性與抗病能力，故，矽仍被列爲稻之有益元素(beneficial element)。

水稻對三要素之反應以氮素最爲敏感，氮素稍缺乏則發育不良，產量不高，但如果施用過量，或施用時期不當，亦易滋生病蟲害或引起倒伏而減產。水稻自播種以至收穫之任何階段均可吸收氮素，但就各階段所吸收氮素對稻穀生產之效率言，則以分櫱盛期及幼穗形成期爲最大。分櫱盛期及幼穗形成期氮素養分充足與否，影響穗數、潔實率及千粒重，因此欲穫高產，必需在這兩個時期充分供應氮素肥。氮肥施於稻田表面後，極易因脫氮作用而揮失，且亦有一部分流失，其損失量因土壤質地而異。因此，氮肥需分次施用，其中基肥需混入土中 0-12 公分才能減少損失，而漏水過速之水田則不施用基肥。分櫱盛期之追肥應視分櫱狀況；穗肥應依葉色，調節施用。

磷肥以一次作基肥施用爲原則；鉀肥則著重追肥分施，避免過早施用而流失。

二、稻作營養之精準管理

水稻爲臺灣地區栽培面積最多之作物，合理之肥培管理除了其經濟意義外，積極的更有維護生態環境之意義。水稻的生育受品種、氣候環境、栽培方法及土壤肥力等因素影響，本省已往亦已累積相關之試驗結果釐訂有稻田之氮肥、磷肥及鉀肥之推薦用量，使水稻之施肥推薦邁向科學化。近年來在複作制度下，由於不同作物之施肥情況截然不同，上作施肥所殘留肥分和作物殘體對次作物之養分吸收將有莫大影響(Hayami，1975)，故土壤養分之測定及作物需肥性之診斷益加重要。

基於水稻收量之生理觀點及上述原則，稻作營養之精準管理簡述如下：

1.營養生長期：

營養生長期爲穗數之決定時期，亦是分櫱數及葉數增加的盛期。據報告分櫱發生之最適濃度爲氮磷鉀各 4.0，0.2，1.5%以上，尤其是氮濃度與分櫱之發生關係最爲密切。植物體中氮濃度越高，分櫱數亦愈多，但這並不意味整個分櫱期都需要保持高濃度的氮磷鉀以促進分櫱。如果在分櫱末期(亦即幼穗形成期前 10 天爲中心的穗頸分化期)氮肥過多則：(1)分櫱繼續發生以致無效分櫱增多；(2)促使下部節間伸長而易導致水稻倒伏；(3)促使上部葉片軟

弱伸長，影響受光姿勢，對於出穗後之光合成不利。故分蘖期之水稻營養主要依靠基肥及早期追肥(即第一、二次除草時)以促進早期分蘖，確保收量所需之預定穗數爲原則，而在上述幼穗形成期前容易產生氮過剩之害的期間(自幼穗形成期前約 20 天至幼穗形成期)，應利用灌溉水管理(如晒田)方法暫時斷肥或控制上述基肥和追肥之用量而勿使肥效過分持續。但上述幼穗形成期前氮肥肥效之抑制應有限度，該時期固然是氮肥過剩害最易發生的時期，如過分抑制亦會導致無效分蘖之增多及一穗粒數之減少(因爲幼穗形成期前 10 天之穗頸分化期正是穀粒數生產能率最大的時期)而抵消高產的必要因素，所以這段時期之氮肥營養應如何維持仍須注意。同時，許多報告顯示：短稈直立型的耐肥性品種比一般品種都不易在這段期間產生氮過剩之害，對於這種品種當然就沒有抑制肥效之必要。

2.生殖生長期：

生殖生長期是幼穗一面發育，另一面稻株節稈伸長及上位葉生長的期間，也是水稻群體姿勢及一穗粒數之決定時期。在此生長期間，水稻葉片之更立體化，便於接受陽光。而這段期間之氮肥施用一方面既不易產生如幼穗形成期前施肥那種氮過剩之害，另一方面卻能有效增加一穗穀粒數和上位葉之葉面積以及其單位葉面之光合成能力，故是一個重要的施肥時期，所施肥料有穗肥之稱，但穗肥之效果仍視其施肥前之水稻營養狀態而定。如分蘖期之施肥量過多而肥效持續，則穗肥效果不顯著，甚至於亦會產生氮素過多之害。一般的情形是在幼穗形成期(即出穗前 23-25 天幼穗長達 0.1-0.2 公分時)觀察水稻顏色或用碘檢查葉鞘之澱粉堆積情形，以決定施肥與否，或調節用量和施肥期。穗肥之施用時期一般以檢查母莖幼穗長度 0.2 公分時的前後 5 天內(亦即是幼穗長 0.1-0.5 公分時)施用爲準，但如該時水稻葉色仍是濃綠，要延後施用。最好的情況是分蘖期肥料用量控制得當，或在無效分蘖期至幼穗形成期之間施行曬田。以避免水稻在該期間吸收多量氮素，則水稻到幼穗形成期葉色當會褪黃，葉片直立,適合於穗肥的施用。

3.成熟期：

出穗至成熟之期間是穀粒肥大充實之時期，此期之同化產物除了呼吸消耗者以外全部移至穀粒，期間約爲 30 天。成熟期間不只是葉片所合成之糖，就是莖鞘所蓄積之糖類以及易於流動之氮磷鎂硫等無機要素均移向穗部，致根葉易於老化，使葉之光合成能力低下，故若要產量高，即對葉根之衰退應設法防止。成熟期間之氮素施用對葉面積並無增大作用，但可延遲葉之枯死，增加光合成能力，此爲施用粒肥之原因。就營養之觀點看，粒肥之施用應具有以下條件始可有效，即：(1)根部要健全；(2)葉片之受光姿勢要良好；(3)穀粒數/葉面積之比例要高，(4)出穗後天氣要良好，日照充足。

陸、稻之病害與其精準管理

一、稻之病害

稻之病害約 60 種，按病原 Ou(1972)將稻之病害分成真菌病害(fungal diseases)、細菌病害(bacterial diseases)、病毒病害(virus diseases)及線蟲病害(diseases caused by nematodes)等類別。而在這諸多之病害中，有些是國際性；有的則爲區域性。有些是風土病(endemic)；有些是傳染病(epidemic)。且各該病害對稻作之爲害亦有不同，有興趣之讀者可進一步閱讀 Ou(1972)及 IRRI 系列相關出版品。

臺灣地處亞熱帶，高溫多濕的海島型氣候，頗適合各種稻作病原之繁殖及爲害，每年因病害的損失，據估計約 6%之譜。本省水稻病害已報告有 50 餘種，病原

包括真菌、細菌、病毒、菌質及線蟲等，真菌引起之病害最多。本田期真菌性病害有稻熱病、紋枯病、徒長病、胡麻葉枯病、葉鞘腐敗病、褐條葉枯病、小粒菌核病、赤色菌核病、褐色菌核病、稻麴病及黑腫病等較爲普遍。秧苗期病害之徒長病、稻熱病及胡麻葉枯病等係經稻種傳播之病害，而秧苗立枯病則爲土壤中多種真菌複合感染所引起。細菌性病害之白葉枯病及細菌性穀枯病較普遍。病毒病害有黃葉病、縞葉枯病、草狀矮化病、皺縮矮化病及萎凋矮化病，黃萎病則由菌質引起。線蟲病害以白尖病較爲普遍，乾旱區雖有根部線蟲病害之報告，但根部線蟲均屬區域偶發性病害。

依據病原之生態及病害之傳播方式，水稻病害分爲流行病及風土病二種類型。流行病受氣候影響大，平常年大多地區不會發病，氣候適合發病之流行年，病害發生後會迅速蔓延，全面性發生病害，並引起嚴重損失。風土病則每期稻作均會發生，罹病程度同樣也會受氣候影響，傳播則未如流行病之迅速。近年來，稻熱病與白葉枯病爲水稻主要流行病。稻熱病在第一期作較嚴重，據統計報告，民國 55 年至 77 年共 23 年期間，第一期作平均葉稻熱病發生面積 34,269 公頃，穗稻熱病 26,400 公頃。白葉枯病在第二期作較嚴重，每年發病面積均達 1 萬公頃以上，民國 74、78 及 83 年第二期作，稻白葉枯病均超過 4 萬公頃。稻紋枯病發病面積率，民國 52 至 80 年期間，第一期作平均爲 15.8 %，第二期作爲 16.7%，稻紋枯病爲臺灣稻作之重要風土病。

稻熱病 (Blast) 之病原真菌爲 *Magnaporthe grisea*，病害之主要感染源爲無性世代之分生孢子，無性世代爲 *Pyricularia oryzae*。稻熱病包括有苗期稻熱病、葉稻熱病、葉舌稻熱病、節稻熱病及穗稻熱病。苗期稻熱病含葉鞘稻熱病，本田期葉鞘則較少被害。苗期及葉稻熱病之病斑，圓形至紡錘形，順葉脈擴展兩端較尖，初期墨綠色或灰綠色，急速型病斑爲白色，病斑上有大量病原菌孢子，後期病斑邊緣呈褐色或深褐色中間灰白色，病斑邊緣黃暈不明顯。葉舌稻熱病引起葉節及葉舌褐變，臨界葉片及葉鞘組織乾枯萎凋死亡。節稻熱病發生於抽穗後之水稻，莖節褐變或黑變，嚴重時稻莖枯死易折斷，葉鞘外側無明顯病徵，葉鞘內側表面則常有褐變，莖節上有大量病菌孢子。穗稻熱病包括穗頸、枝梗及穀粒稻熱病，穗頸及枝梗被害，初呈灰綠色水浸狀病斑，病斑邊緣轉爲深褐色，被害部位以上的枝梗及穀粒枯死。穀粒被害，呈暗褐色圓形或橢圓形病斑。

稻熱病菌感染水稻及產孢需要有水膜及幾近飽和之相對濕度，最適溫度爲 24～28℃。生長於 20℃之水稻比生長於 24～30℃者感病。水溫較氣溫高時稻株較感病。分蘗盛期後之稻株對葉稻熱病抗性增加，本省梅雨期早來易發生葉稻熱病，晚來則較易發生穗稻熱病。山區因霧氣重濕度高，比開闊地區易發生稻熱病。氮肥多稻株感病，前期作種植蔬菜或菸草，殘留肥料多，水稻較感病，鉀肥多較抗病。乾旱後遇雨促使稻株大量吸收氮肥，使稻葉呈現濃綠，對稻熱病較感病。水稻密植區因微氣象屬於高濕，尤其露期較長，易發生稻熱病。

稻紋枯病(Sheath blight)之病原真菌爲 *Thanatephorus cucumeris*，無性世代 *Rhizoctonia solani* AG1 只產生菌核，無分生孢子。分蘗中期稻叢內部稻株下位葉鞘開始發生紋枯病，形成約 1 公分大小灰綠色水浸狀圓形或橢圓形病斑，再逐漸擴大爲中間灰白色邊緣褐色之病斑，高濕高溫環境下數個病斑併合呈雲狀或虎斑狀，葉鞘組織枯死引起葉片黃化乾枯。葉片病斑初呈濕潤狀灰綠色病斑，迅速擴大形成雲紋狀或不正形的枯褐色大病斑。孕穗後期至抽穗初期，稻穗被感染呈污綠色，枝梗

及穀粒呈灰褐色腐死，致抽穗不良。乳熟期稻穗局部被害呈污綠色再轉爲灰褐色病斑。秧苗罹患紋枯病之病徵與本田期相似。發病 3～4 天後，病斑上及附近組織上的菌絲先形成白色菌絲團，再轉爲褐色菌核，病株表面上有菌核爲診斷紋枯病重要根據之一。其它病徵很相似的病害如赤色菌核病、褐色紋枯病及褐色菌核病等菌核性病害，它們的菌核產生在病組織或稻莖內，病組織表面未見有菌核。

紋枯病主要初次感染源爲菌核，田水中菌核之漂浮量在整田後到插秧期間最多，稻田中下風處水面的菌核量比上風處多。漂流之菌核碰到水稻植株會附著在葉鞘外側，並隨水稻之生長而昇高。分蘗中期因稻叢莖數增加，稻叢間濕度加大，菌核開始發芽感染葉鞘致病。病菌侵入水稻組織後，利用菌絲在組織中蔓延擴展，田間交織的稻葉爲紋枯病橫向病勢進展的傳播工具。紋枯病菌無分生孢子，靠菌絲接觸感染，因此本病在田間呈聚集型分佈。溫度 24～28℃最適合發病及病斑擴展，相對濕度在 81～92％最適合稻紋枯病之發生。

稻小粒菌核病(Stem rot)之病原真菌有小球菌及小黑菌二種。小球菌爲 *Magnaporthe salvinii*，無性世代 *Nakataea sigmoidea* var. *sigmoidea*。小黑菌未發現有性世代，無性世代爲 *Nakataea sigmoidea* var. *irregulare*。水稻分蘗盛期，小粒菌侵入葉鞘形成黑漆色小圓病斑，或黑色細長縱條斑，漸次擴大至葉鞘內部。水稻乳熟期，病菌開始侵入稻稈組織，呈縱條狀黑色病斑，病斑散生。嚴重時，多數病斑併合圍繞整枝稻稈，稻稈組織由內向外漸次被病菌分解軟化，致使稻株腐朽倒伏枯死，病原菌在葉鞘病組織中及莖稈內壁形成多數菌核。小球菌的菌核呈規則之圓球形，表面具光澤黑色，菌核較大而少，表生或半埋生，剝開病稈後輕輕震動，菌核較易掉落。小黑菌之菌核爲埋生、不規則球形，表面無光澤黑色，菌核較小而多。田間小球菌及小黑菌共同爲害單一稻株之情況很多。部份小粒菌核病，係由稻稈基部感染再往上蔓延，病稈基部黑變有灰色菌絲，菌核量以基部往上第一或第二伸長節間最多。

小粒菌核病以菌核爲主要初次感染源，整地至插秧時田水中菌核量最多，常像一層黑煙浮於水面，附著在稻株上之菌核多，但只有少數菌核發芽後會感染水稻葉鞘。本病菌最適感染溫度爲 24～28℃，病斑發展之最適溫度爲 30℃。多施氮肥易發病，多施鉀肥可減少發病，磷肥影響不大，矽酸可增加稻株抗性。本田初期田水深，小粒菌感染稻株比例高；病菌侵入葉鞘組織後之病勢進展，則淺水區較快。早熟品種水稻比晚熟品種較感病，稻齡與感病性成正相關。

稻徒長病(Bakanae disease)之病原真菌爲 *Gibberella fujikuroi*，無性世代 *Fusarium moniliforme*。秧苗徒長病於秧苗中後期出現病徵，病苗葉鞘不正常增長比健全苗高、植株纖細、葉片著生角度加大、葉幅變小、葉色淡綠至黃綠，稻種上有粉紅色綿狀菌絲。嚴重苗枯萎死亡，死苗上有白色至粉紅色綿狀菌絲及病菌孢子。徒長苗插植本田後大多枯死，未死病株暫時消失病徵，分蘗盛期再顯現病徵，並有新病株陸續出現，病苗在本田無分蘗，新病株有少數分蘗。本田期徒長病之病徵與秧苗期相似，病株纖細黃綠色，葉幅狹小，葉片著生角加大，病株比健株高，莖節處生有不定根，稻稈維管束褐變，葉鞘內測及莖節上長出菌絲及小型分生孢子，隨後莖基部腐爛致全株萎凋枯死，病株上產生白粉紅色或淡灰色的菌絲層，菌絲層上密生分生孢子，高濕環境下，會散生籃黑色子囊殼，子囊殼單生或叢生。徒長病株大部份在水稻開花前死亡，無法抽穗。後期感染之病株能抽穗，但因提早死亡，稻穗上皆爲空粒或有少數不飽滿穀粒。

適合水稻生長之溫度亦適合徒長病發生，大氣中相對濕度對徒長病之影響不大，土壤濕度影響則很大，湛水狀況下不適合鐮孢病菌生長，徒長病發生較少，機插用箱育秧苗因播種量多土壤淺又非湛水狀態，因此徒長病比較多，但因育苗期間短，病徵顯現前已插秧。稻苗徒長病以稻種為主要傳播途徑，稻徒長病田中之健全穀粒外殼幾乎都被病菌污染，播種後發病率一般低於 10%；徒長病株之穀粒無論有否稔實，稻殼及胚乳上均存有大量病菌，播種後全部發病，很快枯死並產生大量孢子感染其它秧苗。

胡麻葉枯病(Brown spot)之病原真菌為 *Cochliobolus miyabeanus*，無性世代 *Bipolaris oryzae*，田間未發現有性世代。水稻葉片被感染後，初呈墨綠色水浸狀小斑點，漸次擴大為紡錘形或橢圓形病斑，褐色至深褐色，周圍有黃暈。缺氮、鉀或矽之稻植株較感病，病斑會繼續擴大，大型病斑延葉脈呈長橢圓形或紡錘型，似稻熱病之病斑，但本病之病斑中間維持黃褐至深褐色，兩端較寬圓黃暈明顯，稻熱病之病斑兩端較尖黃暈不明顯。葉節及葉舌被害，初呈水浸狀墨綠色，病斑擴大並轉為枯褐色，孕穗期劍葉之葉節及葉舌發病嚴重會造成抽穗不良。稻分蘗期嚴重發生本病時，葉片常縐縮伸展不良，稻株矮化，抽穗緩慢，稻穗短小結實不佳。穀粒被感染，外穎呈茶褐、暗褐色或暗色，糙米病變為銹米、死米或青米等，空秕粒增加。

胡麻葉枯病初次感染源分別來自帶菌稻種及病株稻草，病菌腐生性強，環境不良靠菌絲或分生孢子殘存。感染稻種之分生孢子平均可存活兩年，病組織中之菌絲平均可存活 3-4 年。本病菌之分生孢子無休眠性，溫度 20-28℃之高濕環境下，分生孢子在稻葉表面，經 4-8 小時即可完成侵入過程。砂質土壤、泥炭地土壤或土壤淺之稻田，因土壤貧瘠及保肥力差，稻株缺乏氮肥、鉀肥及矽酸易發生本病。其它病蟲害發生後，造成水稻生育不良，亦會併發本病，其中以黃萎病及病毒病害最明顯。

稻葉鞘腐敗病(Sheath rot)之病原真菌為 *Sarocladium oryzae*。發生在水稻葉鞘上，初呈不規則圓形斑點，邊緣褐色中間灰色或全部灰褐色，與健全組織無明顯界限，病斑擴大成虎斑狀並常圍繞整個葉鞘。劍葉葉鞘被本病為害會引起抽穗不良，並有多數穀粒被害呈枯褐至暗褐色，稻穗嚴重被害枯萎腐敗則無法抽出。本病菌在病穀及葉鞘病斑表面有大量白粉紅色分生孢子及孢子梗，菌絲少與鐮孢菌有大量菌絲不同，本病之病斑上有孢子而與紋枯病亦可區別，本病大多僅為害劍葉之葉鞘，第二上位葉鞘以下葉鞘較少被感染，紋枯病之病斑一般由下位葉鞘蔓延而上因而可區別。

葉鞘腐敗病可經由稻種傳播，在田間之腐生性亦很強，病株稻草在田間潮濕環境下，病組織上會產生大量孢子，病菌並會繼續擴展，與其它腐生菌競生，本病菌在稻田間普遍存在，稻株因其它病蟲為害而衰弱時，易發生本病。

稻褐條葉枯病(Narrow brown leaf spot)之病原真菌為 *Sphaerulina oryzina*，無性世代 *Cercospora janseana*。本病感染水稻葉片、葉鞘、葉舌、穗梗及稻穎等部位。葉部病斑赤褐色寬度小於 1 公分，局限在 2-4 條葉脈間縱向擴展，病斑長度可達一公分，病斑外圍黃暈明顯。抗病品種上之病斑較短、黑褐色、略有黃暈。本病在葉節產生紅褐色至紫褐色病斑，整個葉節組織變硬脆易斷，葉片基部會縐縮，葉片較短較厚，病斑順著葉脈間向葉片及葉鞘擴展，病害組織僅外觀變色，無急速乾枯萎凋症狀，劍葉之葉節及葉舌被害嚴重時會造成抽穗不良。稻穗軸被感染後有細條紅褐色病斑，嚴重被害後組織變脆易斷，穀粒被害亦有細條小斑點。穗頸及枝梗被害部位，初呈現灰綠色水浸狀病斑，病斑邊

緣轉爲深褐色，被害部位以上的枝梗及穀粒枯死。

褐條葉枯病之病原菌經由氣孔侵入寄主組織，多數菌絲直接穿生寄主細胞，在表皮組織中縱向擴展。病菌產孢時，孢子柄由氣孔下之菌絲長出，再經由氣孔長出寄主外表。本病之病勢進展慢，因此田間均於水稻後期出現。本病對肥料反應與其它病害略有不同，鉀含量高之稻株對本病較感病。

箱育秧苗立枯病(Seedling blight)爲複合感染之病害，病原真菌包括 *Sclerotium rolfsii*、*Pythium* spp.、*Fusarium* spp.、*Mucor* spp.、根黴菌 *Rhizopus* spp.。各病菌引起之症狀及病株在育苗箱中分佈型式差異很大。*S. rolfsii* 在土壤表面有絹白色菌絲，菌絲生長快速，在秧苗葉鞘外表密集纏繞引起枯萎，病菌會產生如蘿蔔種子大小、褐色、表面光澤之圓球形菌核。腐黴菌及水生菌類感染幼苗呈水浸狀腐敗褐變，綠化後之病苗先青枯再轉爲赤褐色，拔取病苗可見葉鞘基部、根冠及根均軟腐褐變，無紅色黴狀物，將病苗洗淨保濕，一日後會長出略透明之白色菌絲。鐮孢菌引起病苗生育不良、矮化、分佈零散，拔取病苗可見稻種上、莖基部及根冠上有粉紅至深紅色之菌叢，病苗根數少而短，苗根及地下部葉鞘紅褐色病變，地上部由外面葉鞘開始枯萎，嚴重秧苗全株枯死並有粉紅色菌叢。利用蔬菜跡地土爲育苗土易引發白黴菌及根黴菌，稻種播種後堆積期間，土表面長滿略透明菌絲及黑色或褐色孢子囊，秧苗移出綠化隨即枯死。白黴菌發生於低溫，菌絲白色至淡黃褐色，孢子囊爲褐色。根黴菌發生於較高溫，菌絲白色，孢子囊黑色。

秧苗立枯病在 20℃以上不易發生，15℃以下秧苗生育受阻抵抗力弱易發病，本省第一期作遇低溫寒流時容易發生立枯病。旱地土壤中菌類密度比水田土壤高，以旱地土壤爲栽培土容易發生立枯病，以表土爲栽培土之發病率較心土爲高。土壤酸鹼值 pH 5.0 以上易發病，但 pH 4.0 以下對稻苗生長不良。稻種播種量多則秧苗纖細抵抗力弱，秧苗稠密致苗間濕度高病原菌滋長迅速，易發生秧苗立枯病。

稻麴病 (False smut) 病原真菌爲 *Ustilaginoidea virens*。病穀胚乳腫大，呈黃色、綠色或黑色，爲病菌之菌核及孢子堆，外觀很像麴母，病穗之穗梗正常。早年人們認爲本病發生於風調雨順氣候之年份，稱之爲豐年病，學者認爲係稻穀粒過度飽滿致米粒外露被感染致病。近年來發現，稻抽穗期及開花期遇陰雨潮濕環境易引發本病，乳熟後期在田間即可發現本病。

稻白葉枯病(Bacterial blight)病原細菌爲 *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae*。典型白葉枯病，病斑常起源於葉緣，病菌由水孔侵入，在葉片邊緣形成波浪狀病斑，病菌又隨著葉脈往下蔓延，並在葉脈兩側形成黃化病斑。診斷時將病葉切斷放在水中，可看見細菌的菌泥從病組織中溢出。本省第二期作高溫環境下，會偶發白葉枯病急速萎凋型病徵，插秧後 1～3 週，罹病苗發生急速萎凋枯死，枯葉飄浮水面，病株上有黏稠物爲病原細菌。

白葉枯病主要發生條件爲高溫高濕，高溫適合病菌生長，高濕有利病菌傳播及侵入，颱風挾帶高雨量易造成稻白葉枯病大流行，一般觀念認爲係因颱風造成稻葉傷口有利病菌感染，由近年來本省稻白葉枯病日漸猖獗，第一期作發病面積逐年擴大之情形，颱風並非必要條件，長期下雨或濃霧均有利本病之傳染。農友之作業習慣也是一個影響因子，露水未乾前下田工作將成爲主要傳播工具。

稻細菌性穀枯病(Bacterial grain rot)病原細菌爲 *Pseudomonas glumae*。水稻齊穗後之綠色穗中較易判別，被害穀粒外穎由底部開始病變，初呈蒼白色似失水狀萎凋，漸變爲灰白色或淡黃褐色至深褐色，內外穎之先端或基部變紫褐色，護穎呈暗

紫褐色，外穎上之病變部份與健全部份界線不明顯，穗軸及枝梗綠色未病變。開花前被感染之罹病穀多呈不稔，開花後被感染之罹病穀內糙米由胚乳基部病變呈灰白色，或轉爲黃褐色，患部與健全部界線明顯常呈深褐色帶狀，病糙米畸形萎凋。一般被害稻穗之病穀粒約 10-20 粒，嚴重之病穗則有一半以上之穀粒枯死，稻穗呈直立狀而不易彎曲。本病菌在田間很少感染水稻葉鞘，但會感染有傷痍之葉鞘，首先產生水浸狀病變，隨之轉爲黃褐色，終成中間灰褐色外緣深褐色之病斑，嚴重者病斑會蔓延至整個葉鞘。

細菌穀枯病發病溫度在 24℃～35℃之間，又以 30℃～35℃最適合發病。稻抽穗前後陰雨氣候有助於本病之發生。第一期稻作抽穗期，雖然濕度夠高，但溫度不高，尤其夜間溫度太低，故本病發生較少。第二期稻作抽穗期，中南部氣候高溫多濕，本病發生較普遍；北部則較少同時高溫高濕，本病甚少發生。本病之感染源以稻種傳播爲主。

稻黃萎病 (Yellow dwarf) 病原爲 Mycoplasma-like organism。黃萎病爲系統性病害，植株明顯矮化，分櫱增多，葉片短、稍寬、淡綠至淡黃色。本病由黑尾葉蟬類媒介傳播，媒介蟲吸入菌質後，經過約三週之潛伏期後可傳病，並終生帶菌質但不經卵傳給後代。稻株感染菌質後潛伏期 3～6 週。苗期感染者至分櫱期顯現全株病徵，病株不抽穗。分櫱期感染者僅少數分櫱病變，抽穗不良程度因感染期間而有差別。孕穗期至抽穗期感染者，至水稻成熟期未顯現病徵，收割後長出再生稻會出現鮮黃色病徵。

田間偶而可見病徵與黃萎病很像的草狀矮化病、萎凋矮化病及皺縮矮化病，病株同樣是矮化、分櫱增加、葉片短、淡黃綠色，但後面三種病之病株狀如草欉、葉片狹窄、直立、常有銹色小斑點。

稻黃葉病(Transitory yellowing)病原爲病毒。黃葉病爲系統性病害，病株生長比健株略慢，不分櫱或分櫱數減少，葉片著生角度稍大，下位葉先呈現深黃至淡黃橙色病徵，並散生銹褐色斑點，葉尖呈褐色乾枯捲曲。病株心葉的葉肉組織，病變成淡綠色，對光透視很容易辨識。本省第二期作高溫環境下，有機物醱酵不良產生有毒物質，導致生理障害發生「窒息病」，下位葉片也會散生銹褐色斑點，嚴重時呈黃褐病變很像黃葉病，但「窒息病」病株心葉的葉肉組織未病變，爲主要分辨點。

黃葉病由黑尾葉蟬類媒介傳播，媒介蟲吸毒後約經一至三週之潛伏期即可傳病，帶毒蟲終生帶毒但不經卵傳播。第一期作秧苗感染病毒約經三至四週潛伏後顯現病徵，第二期作秧苗被感染經一至二週即現病徵。本病之病株收割後不長稻椿，田間第一次感染源均來自帶毒媒介昆蟲，因此第一期作發病比第二期作少。

稻縞葉枯病(Stripe)病原爲病毒。苗期被感染之病株，新葉片黃化徒長捲曲，分櫱數減少。本田初期被感染之病株，病株分櫱數未明顯變化，新葉片沿葉脈方向產生大型黃化條斑，或全葉呈黃化現象，葉鞘及莖稈未徒長，葉片徒長而捲曲下垂，並由葉緣向內捲縮呈細長圓柱狀。分櫱中、後期被感染之病株，葉片呈嵌紋病徵或全葉黃化，後期病斑上有灰褐色壞疽型條斑。孕穗期以前表現病徵之病株，通常不抽穗即枯萎死亡，少數能抽穗者亦多不稔實。

縞葉枯病主要由斑飛蝨媒介傳播，受氣候及蟲齡影響，斑飛蝨吸入病毒至能傳毒之潛伏期爲 5～21 天，經過潛伏期後之二週內傳毒能力最強，帶毒蟲終生帶毒，部份帶毒母蟲會將病毒傳給後代。稻株被感染後，因環境及稻齡不同，潛伏期爲 10～25 天。斑飛蝨及本病病毒之寄主範圍均廣，因此病害之發生受斑飛蝨族群密度影響最大。

稻白尖病 (White tip) 病原線蟲爲

Aphelenchoides besseyi。苗期開始發病，心葉淺黃綠色或青白色，隨之乾枯，稻苗期及插秧初期健株生長快速遮掩病株，因而不易察覺發生線蟲白尖病。至水稻分蘗盛期後，病株葉片陸續顯現病徵，罹病心葉自葉鞘抽出尙未展開時，其尖端約 1～6 公分處呈淺黃綠色或青白色，已展開葉片尖端呈淺黃而變白色或油浸狀灰色透明狀，對光透照似有螢光，罹病部與健全部有暗褐色波狀隔紋，罹病葉尖漸捲縮枯萎而脫落。嚴重病株之莖節較短並常有暗色斑紋，分蘗數增加，葉片短狹轉濃綠色，尤其劍葉常會發生扭捲現象。嚴重病株抽穗不良，花穗畸型且短，稔實率低，又於下面莖節另抽出一小穗，但稔實率及稔實度均不佳，穀粒扭曲不整，有紅褐色斑點或全面暗褐色。

白尖病之病原線蟲經由稻種傳播，因捲曲膠著於稻殼內表呈休眠狀態，可存活三年以上。田間水稻收穫後，病原線蟲也可在稻稈、遺落田間穀粒或秕粒存活越冬，這些帶蟲材料藉由灌溉水流到秧苗或稻株上，病原線蟲附在稻葉鞘，再轉入葉鞘內側及心葉部位繁殖生長致病。

二、稻作病害之精準管理

稻作病害之防治，以種植抗病品種最好。長年的水稻育種工作，抗病檢定被列爲重要項目之一，經命名推廣之稻品種均帶有抗稻熱病基因，抗白葉枯病之稻品種則較少。種植抗病品種雖爲最佳防治方法，但病原菌會產生新的生理小種感染抗病品種，致使抗病品種罹病化，因此抗病品種輪替是必要的。

肥料三要素施用適當，氮肥過量稻株較感病，氮肥採分次施用可增強植林抗病力，抽穗前缺氮肥時應補施穗肥，充分施用鉀肥或矽素肥料，可增加稻株抗病性。多施堆肥及綠肥等有機質肥料，稻草經醱酵方可施用，可降低胡麻葉枯病之發生。

稻作病害防治亦不可忽視耕作管理及田間衛生。浸種前需以硫酸銨水溶液或鹽水選取健穀，去除病秕。育苗土最好採用水田心土，一般土壤需乾燥後存放長時間，降低土中病原菌密度後再使用，舊育苗箱重複使用前先洗淨並消毒，稻種充分浸水並預先催芽，避免播種太密，覆土不宜太厚，第一期作育苗有寒流時，應蓋塑膠布保溫，溫度回升，則須注意通風，如此可降低秧苗立枯病發生，育出健壯秧苗。第二期作育苗期間，覆蓋尼龍網可防止媒介昆蟲傳染病毒，減少病毒引起之病害。本田被害之稻草不可置放田間，水稻收穫後罹病稻稈應善加處理，深耕翻犁將稻殘株埋入土中，降低田間病原密度。老熟秧苗常有稻熱病、胡麻葉枯病及徒長病，應避免栽種老秧苗。加大水稻行株距，降低叢間濕度及病蟲害，可增加稻株對病害之耐病性。稻田應注意灌排水，插秧至分蘗期採淺水灌溉，分蘗盛期達有效分蘗莖時可適時行排水措施，尤其第二期稻作，可增進稻根生育增強稻株強壯及抗病力。施肥或濆藥工作儘可能在下午進行，避免清晨露水未乾前在已發生白葉枯病之稻株間行走。田間雜草清除也可減少病害傳播。水稻抽穗期以後改以深水灌溉，水稻生育後期愈晚排水愈好。

稻種消毒防治稻種傳播之徒長病、稻熱病及胡麻葉枯病，可降低及延遲本田期病害之發生。藥劑防治將因不同病害及地區而有不同對應方法，流行病之經濟防治應配合病害之發生預測，風土病則注重於早期防治。容易發生稻熱病的山區，防治時機應較早，可注意病勢進展，當被害率達 5％而且大多是灰綠色的感病型新病斑，就要趕快防治。相對的，稻熱病斑數少且爲深褐色，氣候又已轉爲比較乾燥，則不必防治。紋枯病在分蘗期開始施藥防治，效果較孕穗期以後再防治爲好。

柒、稻之蟲害與其精準管理

一、稻蟲害之概況

稻之害蟲超過 100 種，一般歸類為：螟蟲類(stem borer)、飛蝨類(plant hopper)、葉蟬類(leafhopper)及癭蠅類(gall midge)等四類。有關臺地區水稻蟲害之調查研究，較具系統者始於光復前的日據時代。1910 年日人堀健與素木得一合著之『有關臺灣害蟲之調查』，為綜合臺灣產害蟲之首著，在 150 種害蟲中水稻害蟲就佔 70 種。1943 年三輪勇四郎所著『臺灣害蟲名彙』所列之水稻害蟲有 101 種。光復後據易希陶（1963）所述亦多達八十餘種。主要發生種類與為害程度因季節、地區而異，而防治策略與耕作方式亦影響重大（表 2）。尤其在 1950 年後，由於合成氯化烴，如 DDT、BHC 等，及有機磷劑等劇毒性殺蟲劑的引進與過度使用，主要害蟲改以飛蝨類、葉蟬類等為主。近年來更以能長距離遷移之褐飛蝨（*Nilaparvata lugens* (Stål)）與瘤野螟（*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)）最受矚目。其他尚有稻細—（*Steneotarsonemus medecassus* Gutierrez）、水稻水象鼻蟲（*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel）等較為地區性且可能日漸擴大嚴重中之害蟲亦需注意。茲將臺灣地區較被重視之害蟲略述於后。

表 2. 臺灣水稻主要害蟲變遷概要

時期	主要害蟲種類	重要背景
光復前	二化螟、三化螟、斑飛蝨、負泥蟲、鐵甲蟲、黑尾浮塵子、黑椿象	生物防治（鴨食鐵甲蟲、人除被害株、摘除螟蛾卵塊等）
光復後初期	三化螟、鐵甲蟲、葉蟬類、負泥蟲、稻螟蛉、稻苞蟲、粟夜盜蟲、瘤野螟、稻椿象、臺灣飛蝗、鹽水蜈蚣	天然藥劑（除蟲菊、魚藤根等） 少量劇毒藥劑（砒酸鈣防治負泥蟲）
增產期 1950～65	飛蝨類、葉蟬類、二化螟、鐵甲蟲、負泥蟲	以藥劑防治為主（合成氯化烴 DDT 及 BHC、有機磷劑過度使用）1949 引進 2.水稻栽培期漸趨整齊
輝煌期 1966～82	飛蝨類、瘤野螟、二化螟、稻心蠅、稻細　、福壽螺	改種半矮性豐產品種 密植、高氮肥之栽培技術 收割後稻草之利用方式（覆畦）
轉作期 1983 以後	飛蝨類、瘤野螟、水稻水象鼻蟲、稻細蟎、福壽螺	綜合防治 經濟為害水平

（摘自朱及鄭，1996；鄭及朱，1999）

1.飛蝨類及葉蟬類：

褐飛蝨（*N. lugens*）為亞洲地區水稻主要害蟲之一，在臺灣是 1912 年時首度被記錄，在此之前並未被人注意，茲後才逐漸被重視而列為重要水稻害蟲，至 1960 年代由偶發性變成經常性發生之嚴重害蟲。該蟲年發生約 8-11 代，性喜高溫多濕之環境，在秧苗期或本田插秧後不久即可侵入，若蟲與成蟲喜群聚於植株基部離水面約 10 公分處吸食汁液，輕者植株基部黃化，重則全株枯萎，常於第二期作乳熟期間危害最烈，蟲口密度高時更可造成整片稻作倒伏之蝨燒現象。

該蟲產卵於葉鞘組織內，成蟲及若蟲均棲息於隱蔽不通風的稻株基部取食，殺蟲劑不易充分觸及，又所施用之藥劑殘毒多較短，故其棲群密度回升迅速，防治實屬不易。因此應慎選藥劑性質，同時注意

施藥技術以及適當防治時機，方能有較佳之防治效果。如褐飛蝨棲群大部爲若蟲時，乳熟期之前平均每叢水稻 5-10 隻，之後每叢 20 隻爲其經濟爲害基準，乃較佳且經濟之防治時機。藥劑噴佈則需連續兩次以上較能抑制其棲群之快速回升。其他如能配合栽植抗蟲品種，以延緩害蟲族群之增殖，亦可減少藥劑之施用。

其他較重要的飛蝨類如白背飛蝨（*Sogatella furcifera* (Horvath)）亦與褐飛蝨同屬熱帶地區害蟲，且同樣能作長距離遷移。年發生 9-11 代，棲息於稻株之中、上部位，抽穗後移棲劍葉及稻穗，造成葉片由基部往上黃化。水稻分蘗後期至乳熟期間密度較高，嚴重時亦會造成蝨燒。

斑飛蝨（*Laodelphax striatellus* (Fallen)）則屬溫帶地區的害蟲，在 1904 年即已是水稻五大害蟲之一，但往後即不被重視，直至 1980 年代才又被重視。本蟲年發生 8-11 代，亦產卵於葉片中脈或葉鞘上部組織內，爲害部位在稻株上部或稻穗，密度在乳熟期達到最高峰。可傳播水稻縞葉枯病，應特別注意秧田及本田初期之防除。

黑尾葉蟬（*Nephotettix* spp.），年發生 8-11 代，產卵於葉鞘脊部組織內，喜群棲於稻株基部爲害。常於第二期作之乳熟期至糊熟期間危害最烈，輕者基葉黃化，重者全株枯萎，甚至蝨燒。該蟲可媒介水稻黃萎病、黃葉病，因其間接危害嚴重而受重視。

電光葉蟬（*Recilia dorsalis* (Motschulsky)），年發生 10 代以上，尤在第二期作抽穗後其族群密度最可能大幅增高。生活習性與爲害方式類似黑尾葉蟬。

2.螟蛾類：

瘤野螟（*C. medinalis*），俗稱稻縱捲葉蟲。在臺灣地區雖然 1912 年即已被列爲水稻主要害蟲之一，但多爲偶發性，1960 年以後才逐漸普遍嚴重，至今之重要性則僅次於褐飛蝨。其原因一般認爲與栽植半矮性、豐產品種及密植、高氮肥等栽培技術有關。本蟲年發生約 6-8 代，在南部地區可能多達 9-10 代，於第二期稻孕穗期至齊穗期危害尤烈。幼蟲取食嫩葉葉肉，或潛入葉鞘啃食其內壁組織，二齡以後吐絲將葉之兩側綴合成縱行蟲苞，棲息其中沿葉脈取食，受害葉片呈縱行長條白色斑痕。

水稻螟蟲類，在日據時代主要是指三化螟，稱之爲臺灣水稻螟蟲之代表。光復後 1960 年代才較重視二化螟。二化螟（*Chilo suppressalis* (Walker)）。本蟲昔時爲地區性蟲害，曾經一度取代三化螟之重要性，1960 年代後期則逐漸變爲次要害蟲，1980 年代初期才又普遍發生。二化螟年發生 4-6 代，卵塊產於葉面或葉鞘上，孵化之幼蟲有群棲性，自葉鞘縫隙潛入取食葉鞘內側，致葉鞘萎黃枯死。隨後鑽入桿內爲害，造成枯心或白穗。越冬之幼蟲或蛹棲息於水稻殘株或稻桿內，因此堆積田邊或作畦面覆蓋等之稻桿就成爲該蟲之擴散源，而殘株稻桿之處理也就成爲防治二化螟之重要工作。

三化螟（*Scripohaga incertulas* (Walker)）又稱一點大螟。自日據時大即爲委稻主要害蟲之一，嘉南地區尤其嚴重，1960 年以後逐漸式微。本蟲年發生 4-6 代，卵塊產於葉片上，幼蟲無群棲性，孵化後即藉爬行或吐絲隨風分散。幼蟲自心葉或葉鞘縫隙或穗梗蛀入稻莖取食爲害，水稻若在分蘗期被害形成枯心，若在孕穗期被害則成白穗。幼蟲亦在殘株或稻桿內越冬，殘株稻桿之處理亦是防治重點。

3.稻細蟎（*S. medecassusi* 或 *S. spinki* Smiley）：

據稱 1968 年在臺南官田鄉之局部地區即有稻不稔病發生，1976 年在中南部爆發嚴重，才被鑑定出來有稻細蟎之爲害。造成水稻不稔症之原因見解不一，一般認爲是由稻細蟎與葉鞘腐敗病菌共同引起。而葉鞘腐敗病菌之感染，需經由稻細蟎的攜帶及其所造成的傷口侵入。因此，水稻

不稔症的主要兇手還是稻細蟎。1979 年以後則鮮有發現不稔症，有學者推測可能與改植抗性品種有關。

4. 水稻水象鼻蟲（*Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel）：

原產於美國，爲害水稻。1976 年入侵日本，10 年之間蔓延全日本。1988 年南韓亦發現該蟲，約 5 年有 2/3 的水稻栽培區被爲害，擴散速度可謂驚人。臺灣則在 1990 年首度在桃園發現，一年之間即約有 15,000 公頃的水稻田被害，幸賴政府補助進行緊急防治，而得以緩和其蔓延速度。然而該蟲已在臺灣立足，且已越過苗栗山區，向中南部擴散之中，應加以密切注意。本蟲在臺灣地區年發生二代以上，成蟲在田邊或林間之雜草、枯枝敗葉中越冬，水稻移植後而侵入爲害，白天其息於稻株基部，黃昏時拔至葉尖活動爲害葉部，沿葉脈造成寬約 0.1 長數公分之白色織紋狀食痕。卵產於水面下之葉鞘組織內，孵化後先在葉鞘內取食，1-3 天後調入水中，並蛀入根部爲害呈碎洞狀食痕，使稻株黃化枯萎易被拔起、分櫱減少，發育明顯受阻。

二、稻蟲害之精準管理

僅管水稻在農業中的重要性不比昔日，且非高經濟作物，然而稻米仍是我國人之主食，有其一定之地位。因此，除了品質要求之外，如何在水稻栽培過程中降低生產成本亦是一致追求的目標。由於病蟲害管理常是主要之成本耗費，若能透過對各種病蟲害發生特性的瞭解，並有效運作已行之有年的預測制度系統及其所累積之資料與經驗，再結合資訊網路與遙測技術等短、中、長期的規劃與管理，使所有防治措施皆能把握適時、適藥、適量及適位之原則，甚而防患於未然，不只能夠降低生產成本，並使水稻栽培機制更臻完善。

捌、結 語

眾所皆知，精準農業是一種以資訊及科技爲基礎之農業經營體系，經藉一套完善之決策系統整合串連農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技、及自動化農機操作系統，鑑定、分析與管理特定之農田與作物，期穫致最佳之收益與環境保育，確保農業之永續經營。而目標作物之栽培、植物營養、農業氣象、雜草管理、病害管理、蟲害管理、逆境生理等各項資料是構成農耕資料庫之重要基礎資訊。

在臺灣，稻作產業因兼具生態性、生活性及生產性，其重要性已因國內外農業主客觀環境之改變而更趨突顯。亦即，在臺灣，稻米並不僅僅是一種最重要的糧食作物，它對臺灣的生態環境，對臺灣經濟的安定更有重大之影響。以往國內在水稻相關栽培、植物營養、農業氣象、雜草管理、病害管理、蟲害管理、逆境生理等各領域之研究既廣泛也深入，各領域均有獲具體研究成果之學者專家。唯，國內以往在水稻之相關栽培、植物營養、農業氣象、雜草管理、病害管理、蟲害管理、逆境生理等各領域之具體成果均無與地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技、及自動化農機操作系統聯結之數據，而無法於精準農業作業系統中直接被應用。

本文係就已獲具體共識有關稻之生長、農業氣象、雜草、植物營養、病害及蟲害逆境與管理等已發表之論著加以綜合討論，主要目的在提供水稻精準農耕體系研究計畫中有關農耕資料庫建立之計畫擬定與執行之參照，而本論述之提出相信在國內進行水稻精準農耕體係建立之研究上將有相當程度之助益。

玖、引用文獻

1. 松島 省三。1972.。稻作 理論 技術. 養賢堂，東京，pp. 219-225.
2. 張德慈。1997。植物遺傳資源---未來植物生產的關鍵。臺灣省農業試驗所特刊第 63 號。
3. 朱耀沂、楊平世。1980。褐飛蝨在臺灣日據時代經濟重要性之探討。昆蟲會會學報 15: 35-44。
4. 朱耀沂、鄭清煥。1996。臺灣光復前水稻害蟲研究之沿革。植保會刊 38: 79-98。
5. 杜金池等編。1990。稻作病蟲害發生預測專輯—稻熱病。臺灣省農業試驗所特刊第 30 號。共 119 頁。臺灣省農業試驗所，臺中。
6. 杜金池、張義璋。1991。水稻紋枯病之生態及防治。杜金池等編， 稻作病害研討會專刊，pp.65-81。臺灣省農業試驗所，臺中。
7. 易希陶。1963。經濟昆蟲學。下冊。國立編譯館出版，464 頁。
8. 吳田泉。1993。臺灣農業史。自立晚報社文化部。臺北。
9. 陳秋男。1978。水稻褐飛蝨 *Nilaparvata lugens* (Stål)之生態。第 1-22 頁，於邱人璋主編，水稻病蟲害：生態學與流行學。中國農村復興聯合委員會出版。
10. 陳秋男、蘇文瀛、楊惠琴、陳麗芳。1982。臺灣水稻害蟲圖譜。臺灣植物保護中心印行，40 頁。
11. 陳慶忠。1978。本省傳播水稻毒素病或類似毒素病害同翅目害蟲之發生及其防治。中央研究院動物所專刊第三號：第 113-122 頁。
12. 蔣慕琰。1995。水田雜草概觀：種類、生態及防治。植物保護學會會刊．37: 339-355。
13. 蔣慕琰、呂理燊。1982。臺灣稻田雜草及其危害。中華民國雜草學會會刊．3(1):18-46。
14. 臺灣省政府農林廳。1966-1997。植物保護工作檢討報告。農林廳編印。
15. 臺灣植物病害名彙。1991。蔡雲鵬(主編)修訂 3 版。中華植物保護學會 604pp。
16. 蔡金川。1978.。水稻生育各期溫度及遮光對產量及其構成要素之影響. 科學農業 26（5-6）：194-201.
17. 鄭清煥。1979。水稻褐飛蝨的經濟為害水平之研究，Ⅱ.褐飛蝨棲群密度與水稻產量損失之關係。科學發展月刊 7(11): 1103-1113。
18. 鄭清煥。1980。第一期稻作黑尾葉蟬棲群成長型式及其直接為害經濟防治適期之研究。昆蟲學會會報 15: 133-144。
19. 鄭清煥。1987。嘉南地區瘤野螟蟲之生態觀察。植保會刊 29: 135-146。
20. 鄭清煥、朱耀沂。1999。臺灣光復後水稻害蟲之發生演變及防治研究之回顧。植保會刊 41: 9-34。
21. 謝式坢鈺。1991。臺灣水稻白葉枯病發生近況與展望。杜金池等編，稻作病害研討會專刊，pp.117-130。臺灣省農業試驗所，臺中。
22. 謝昱暲。1979。一、二期作水稻之生長與光合作用構成因子。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集. pp.91-100. 行政院國家科學委員會研討會專集 第二號行政院國家科學委員會。臺北.
23. 簡錦忠、洪雲卿。1970 稻白葉枯病之研究 1.接種方法之檢討及稻品種抗病性測定。農業研究 19: 46-50。
24. 簡錦忠、謝麗娟。1989。本省稻白葉枯病菌病原群之研究 1.判別品種探討。中華農業研究 38: 216-228。
25. Chang, T. T. 1976. The origin, cultivation, dissemination, and diversification of Asian

and African rice. Euphytica 25: 425-441.
26. Chang, T. T. 1985. Crop history and genetic conservation: Rice---A case study. Iowa State J Res.59(4): 425-455.
27. Chang, T. T., and B. S. Vergara. 1972. Ecological and genetic information on adaptability and yield ability in tropic rice varieties. pp 431-451. *In*: Rice Breeding. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
28. Chatterjee, D. 1948. A modified key and enumeration of the species of *Oryza* L., Ind. J. Agr. Sci. 18: 185-192.
29. Chang, W. L. 1970. The effect of weeds on rice in paddy fields. I. Weed species and population density. Journal of Taiwan Agricultural Research 19(4): 18-28.
30. Chiang, M. Y. and Leu, L. S. 1981. Weeds in paddy field and their control in Taiwan. pp25-35. In Weeds and Weed Control in Asia. FFTC Book Series No. 20. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Taiwan.
31. Chiang, M. Y. 1983. Emergence, growth and reproduction of eleven paddy weeds in two seasons. Weed Science Bulletin (ROC) 4(1): 1-8.
32. Chiang, M. Y. 1994. Integrated management of paddy weeds in Taiwan: current status and prospects for improvement. pp88-95. In Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia. FFTC Book Series No. 45 Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, Taiwan.
33. Chiang, Y. J. and L. S. Leu. 1987. Effect of application timing and residual period of londax on main paddy weeds in Taiwan. In Proc. eleventh Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf. 223-231.
34. Chisaka, H. 1977. Weed damage to crops: Yield loss due to weed competition. pp1-15. In Integrated Control of Weeds. I. D. Fryer and S. Matunaka(eds.) University of Tokyo Press, Japan.
35. De datta, S. K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. 518P. John Wiley & Son, Inc., NY.
36. Mikkelson, D. S., and De Datta. 1991. Rice culture. pp 103-186. *In*: Rice Production. Vol. I. Bor S. Luh (ed.). AVI., Westport, CN.
37. Minton, B. W., M. E. Kurtz and D .R. Shaw. 1989. Barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli*) control with grass and broadleaf weed herbicide combinations. Weed Sci. 37: 223-227.
38. Ou, S. H. 1972. Rice Deseases. 368p. Commonw. Myclo. Inst., Kew, England.
39. Premasthira, C. and Zungsonthioporn, S. 1995. Allelopathic substances contained in gooseweed (*Sphenoclea zeylanica* Gaertn.) pp311-314. In Proceedings I(A) 15th Asian-Pacific Weed Science Society Conference Tsukuba, Japan.
40. Tanaka, A.,S. A. Navasero, C. V. Garica, F. T. Parao, and E. Ramirez. 1964. Growth habit of the rice plant in the tropics and its effect on nitrogen response. IRRI. Technical Bulletin No. 3. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
41. Takeda, S., P. B. Sweetser, D. L. Erbes and T. Yuyama. 1985. Mode of selectivity of londax herbicide (DPXF5384) in paddy rice. In Proc. tenth Asian-Pacific Weed Sci. Soc. ㊣

Conf. I: 156-161.

42. Vergara, B. S. 1980. Rice plant growth and development. pp 75-86. *In*: Rice: Production and Utilization. B. S. Luh (ed.), AVI., Westport, CN.
43. Vergara, B. S., and T. T. Chang. 1976. The flowering response of the rice plant to photoperiod : A review of literature. 75p. Int. Rice Res. Inst. Tech. Bull. 8. Los Banos , Philippines.
44. Vergara, B. S., and T. T. Chang. 1985. The Flowering Response of the Rice Plant to Photoperiod. 61p. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
45. Yamasue, Y. and Ueki, K. 1983. Biology of paddy weeds and their control in wetland rice. pp227-242. In Weed Control in Rice. International Rice Research Institute. Philippines.
46. Yoshida, S. 1981. Fundamentals of Rice Crop Science. 269p. Int. Rice Res. Inst. Los Banos, Philippines.
47. Zimdahl, R. L., K. Moody. R. T. Lubigan and E. M. Castin. 1988. Patterns of weed emergence in tropical soil. Weed Sci.36: 603-608.

Chapter 4 Development and Precision Cultivation Management Practice in Rice

Yih-Chuan Kuo[1], Jin-Chuan Tsai[1], Yeong-Jene Chiang[2], Chong-Ho Wang[1], Yih-Chang Chang[1], and Jih-Zu Yu[1]

[1] Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture
[2] Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substance Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC

ABSTRACT

Rice is generally considered as a semiaquatic annual plant although it could survive as a perennial in the tropics or subtropics. Taxonomically, rice belongs to the genus *Oryza* of family *Gramineae*. The rice plant takes 100-210 days, usually 4-5 months, from germination to maturity, depending on the variety and the environment under which it is grown. The development of the rice plant can be divided into three phases (stages): vegetative phase or stage; reproductive phase (stage); and ripening or maturation phase (stage). Rice is often grown in diverse biotic and abiotic stress, the practice cultivation management is so important in performance of yield potential. The comprehensive review was given in the topics of development, climatic environment and its effects on rice production, mineral nutrition and fertilizer management, weeds and weed control and insects and diseases and their control of rice.

Key words: Development, Precision Cultivation Practice Management, Rice.

53 -64, 2000

第五章　土壤變異之精準管理

林木連　郭鴻裕　黃維廷　張明暉
行政院農委會農業試驗所農化系

摘要 ---------- 54
壹、前言 ---------- 54
貳、土壤取樣 ---------- 55
參、土壤感測器之應用 ---------- 56
肆、土壤性質之遙測 ---------- 56
伍、土壤空間變異分析技術 ---------- 57
陸、土壤肥力精準管理 ---------- 58
柒、管理區之理念 ---------- 62
捌、結語 ---------- 62
玖、引用文獻 ---------- 63
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 64

第五章　土壤變異之精準管理

林木連　郭鴻裕　黃維廷　張明暉
行政院農委會農業試驗所農化系

摘　要

土壤變異的精準管理是應用資訊與技術來管理田間土壤的空間與時間變異，以便作物有良好之生長而同時也能維護環境的品質。此種精準管理，通常會利用方格取樣法、基標土壤取樣法或地景導向取樣法來採取土壤樣本進行土壤分析，而後利用地理統計或地理資訊系統來觀察土壤肥力變異之情形，進而探討出影響產量的重要土壤因子，加以合理解釋與擬定管理的策略。土壤肥力的精準管理主以石灰及氮、磷、鉀肥之定點施用為主要對象。土壤 pH、有效性磷及鉀之時間變異性較低，而土壤有效氮在土壤中之空間及時間變異性均較高。在磷鉀肥力之精準管理主以土壤有效性磷、鉀之高低（禾穀類作物）來推荐各不同定點之肥料用量。而精準氮肥管理的問題就比較複雜，氮肥之推荐目前之研究發展包括氮素收支平衡法、條帶試驗法及作物含氮狀況監測法。管理區之規劃是精準肥培一項新的理念，不同的統計方法已被應用在管理區之劃分上，包括線性、非線性、非母數分析如 PPR、類神經網路等。由於台灣為小農制，管理區之理念在精準農業之利用值得我們加以考慮。

關鍵詞：精準農業、土壤變異、地理統計、土壤肥力、精準管理、土壤感測器。

壹、前　言

精準農業（precision agriculture）是一種管理生產環境與作物空間及時間變異的技術，以獲得合理生產及維持環境品質（Pierce and Nowak，1999）。而作物性狀之變異可以說是品種、氣候、土壤、耕作方式（管理）及這些因子間相互作用之綜合表現。變異的評估是實施精準農業第一個重要的步驟，而一般常進行之變異評估為土壤變異及作物性狀的變異。土壤為作物生長之重要環境，而養分的供應對作物的生產甚為重要，且自然界的土壤一般都無法充分供應作物生長所需之氮、磷、鉀素，如台灣地區 1998 年就輸入了 60,379 公噸之氯化鉀，而生產之化學肥料合計共 1,248,194 公噸，包括硝酸銨鈣、尿素、過磷酸鈣、複合肥料及硫酸鉀（農林廳，1999）。土壤是一種複雜的有機體，它對植物養分之供應能力一般是具有空間及時間變異性的，而作物對養分之需求也是一

樣，加以養分會因淋洗、沖蝕及逕流而流失，且耕作上之施肥也是造成變因之一，故 Sharpley（1997）就曾指出土壤肥力的精準管理（precision fertility management）具有顯著性的存在空間，因爲它可以用來改善作物的生產，維護我們的生態環境。

貳、土壤取樣

土壤取樣是瞭解田區土壤養分變異極爲重要之步驟，田區的精準管理需要較新的土壤取樣策略。一般在國外之應用上需要衛星定位儀之輔助，以能從事方格取樣（grid sampling），或再度回到原來之取樣點進行取樣。由於精準農業之發展，土壤的取樣也已發展出不同之策略。

一、傳統混合取樣（Traditional Composite Sampling）

傳統混合取樣法過去幾乎在農業上被應用了數十年，取樣方法爲逢機或 ZigZag 式採取適當之樣本，然後置放在一起充分混合，採取適量之次樣本當做單一樣本。

藉著 GPS 的使用，傳統逢機式之取樣可以每年定位相同之座標進行取樣，以減少年度間之取樣變異。

二、基標土壤取樣（Benchmark Soil Sampling）

爲就田區內對作物引起生長有可能差異之土壤進行取樣，通常經由農民自己來判斷，因爲他們在自己的田區長久耕作，最爲瞭解。此法爲就田區選擇代表性之基標土壤位置進行土壤取樣，已可或多或少提供變異率施肥之參考。

三、方格法土壤取樣（Grid Sampling）

本法是一種系統性之取樣方法，通常將田區劃分成許多較小區之方格，就每方格之中心點（centroid）以半徑約 3-6 公尺進行，3 到 10 個點之取樣，然後混合成一樣本，也有以方格之交叉點做爲代表性取樣點（如 Fig.1.右圖），如此取樣法就變成點性資料。而 Fig.1.中以方格內中心點外圍之取樣，可以用來代表面或點的資料。

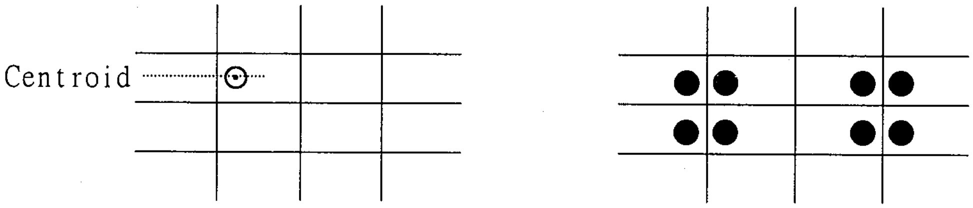


Fig.1. Two grid sampling methods

方格取樣由於取樣點數較密，故成本較高。美國因爲大農作耕作面積一些州推荐之取樣密度爲 0.25 公頃取一代表性樣本，而非方格取樣，大部份仍以 1 公頃爲一取樣單位。通常方格取樣適用於有耕作歷史之田區，施用有機肥、小田區併成大田區、近期有大量施肥（或施石灰）之田區，對於移動性較差之養分如磷或一些微量元素也適用本取樣方法。台灣之單位耕作面積較小，且作物種類繁多又施重肥，造成施肥類型差異甚大，有關方格取樣面積大小仍有待進一步探討。

四、地景導向土壤取樣（Landscape Directed Soil Sampling）

本法一般在坡地農業使用，或我們對田區之不同地景條件可能引起不同之土壤肥力類型已有先見之明。可用之參考資料包括土壤調查資訊、等高線圖、空照圖、衛星影像、產量圖或耕作者自己的經驗，

利用上述之資訊可以歸類出代表性之取樣區或把它稱之爲多邊形（polygon），如此已約略知道土壤可能之變異，每個代表區內之取樣數目就可減少。這個方法要瞭解養分之分佈或管理的單位常要比方格取樣爲佳，特別是針對氮素之管理。

土壤取樣分析是一種高成本的工作，上面所介紹的四個取樣策略，使用者在應用時應自己評估，可以保持彈性而適時適地的加以調整。未來土壤養分感測器之發展，將可使田區土壤養分變異圖獲得更爲容易。遙測技術的發展也可判別田區特定區域之作物養分逆境，這些將使利用土壤取樣分析在界定田區之管理單位更爲得心應手。

參、土壤感測器之應用

土壤感測器之應用是瞭解田區土壤變異一快速便捷且低成本之方法，而且它也可用來瞭解土壤變異後，決定土壤變異位置及取樣大小之參考，但缺點是土壤感測器的價格不可能使每位農民自己擁有，故在歐美有租賃方式之應用，或由精準農業之顧問公司來測定。

一般土壤感測器應用之原理有化學式、光學式、電力式、電磁式、機械式…等等。如土層、質地及電導度之測定有用電磁波感應，以測得土壤之電導度再反推回土層之厚度，也可推測土壤之密實度，美國知名之廠牌如 Veris（電極式）及 EM（電磁波感應式），可結合 GPS、數據收集器提供一些土壤物理性質之測定，進一步作爲精準施肥之參考，也有供鑑別雜草之分佈供噴殺草劑之精準操作；利用光纖探針（fiber-optic probe）感測土壤溶液養分移動、變化之即時測定則爲美國土壤物理界之熱門研究課題；土壤養分之即時測定應用原理有固態電極快速移動式，如美國 Crop Technology 廠牌，提供之資訊有土壤 pH、有機質含量、CEC、土壤水分、硝酸態氮、銨態氮含量及其他一些陽離子養分如鉀、鈣、鎂等。

肆、土壤性質之遙測

光譜遙測及熱紅外線影像遙測應用於土壤水分、有機質、收穫後殘體之測定有不同之評估能力（Baret，1999）。土壤遙測之成功利用可大大減低土壤取樣分析所需耗費之龐大成本。土壤光譜影像反應與土壤有機質含量有相互關係，即高有機質含量之深色土壤與低有機質含量之淡色土壤會有明顯之對比，因爲土壤有機質與氮素的供應有關，因此可以用來預測土壤氮素之有效性。其他的土壤性質如 pH、質地、養分如磷、鉀等就難以偵測。

Table 1 Soil biophysical variables estimable by remote sensing

Variable	VIS/NIR	Near/middle infrared	Thermal infrared	Active microwave	Passive microwave
Surface Moisture	－	＋	＋	＋＋	＋＋＋
Uneveness	＋	＋	－	＋＋	＋
Harvested Residues	＋＋＋	＋＋	＋＋		－
Organic matter	＋＋	＋＋	－	－	－

Number of “＋” indicates estimation ability ; adapted from Baret (1999)

土壤遙測之困難點爲土壤上常有植生存在，尤其小農作且複作指數高之台灣地區。不過研究人員仍試圖利用遙測資訊在土壤研究、土壤調查及土壤圖之製作上，包括土壤性質不同引起之反射或影像反應、土表狀況不同對反應之影響、及利用遙測影像來鑑定土壤類型。遙測也可用來引導土壤取樣，即利用遙測來幫忙界定不同之管理區（management zone），然後就不同的管理區進行土壤取樣。

傳統之土壤調查受限於一些限制因子之影響，往往無法提供精度良好之土壤調查圖，特別是對於土壤邊界（soil boundary）之繪製。超高頻譜遙測（hyperspectral remote sensing）的技術提供建立詳細光譜土壤圖(spectral soil map）的方法。Ahn（1997）曾利用線性混合模式（linear mixture model）以減輕植生及容積（dimensionality）效應，以方塊克利金（block kriging）插補法（interpolation）建立較佳解析度之土壤組成分圖層，再進而建立最後之合成土壤圖（如圖 2），此一聯合操作之土壤圖有助於對已存在土壤圖之瞭解及改進。

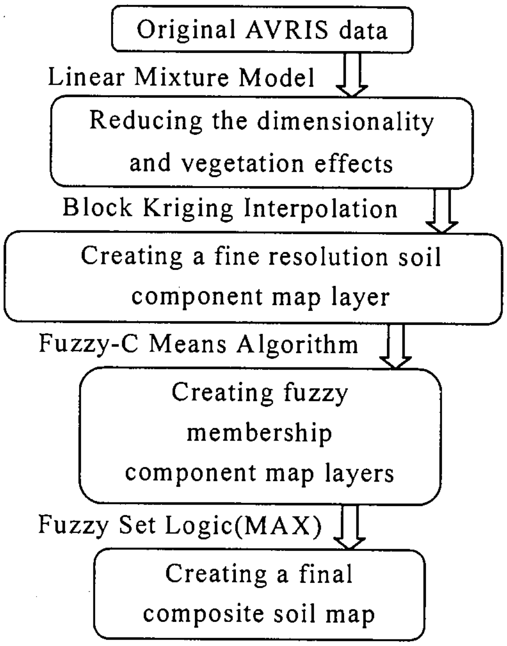


Fig.2. Diagram for original AVIRIS （Airborne Visible Imaging Spectrometer） data to be processed for creating a final composite soil map（Ahn, 1997）.

伍、土壤空間變異分析技術

土壤空間變異分析即亦稱之地理統計（geostatistics）仍是門年輕的科學，它源自 1960 年代 Matheron 之區域變數理論（regional variable theory）。最初是由南非礦業工程師 Krige 爲探勘黃金礦脈所發展出來的空間資料分析技術。在土壤空間變異分析上，其方法爲就目標之田區進行已知座標之土壤取樣。如以土壤肥力精準管理之立場，常分析之項目爲 pH、有機質、有效磷、效換性鉀鈣鎂等項目，然後就這些數據進行常態性分佈之測驗（test），觀察土壤性質之數據是否須進行轉換。

土壤性質的空間相依性通常以半變異圖（semivariogram）表示，距離較近之空間變數較距離遠的空間變數較爲相似。半變方分析（semivariance analysis）用來配合半變圖模式，常用的有線性模式、球

形模式（spherical model）、指數模式（exponential model）、高斯模式（Gaussian model）、乘冪模式（power model）。

克利金法爲一種移動加權平均（weighted moving average）預估法。由法國籍教授 Matheron 爲紀念 Krige 工程師在地理統計研究上的貢獻而將地理統計的估計法稱爲克利金法。視估計之範圍及方法之不同，克利金法有簡單克利金法（simple kriging）、通用克利金法（universal kriging）、方塊克利金法、協同克利金法（cokriging）、普通克利金法（ordinary kriging）、指標克利金法（indicator kriging）、標點克利金法（punctual kriging）及附屬克利金法（adjunct kriging）。克利金法可用來預測未取樣區之土壤性質，由其輸出到三維、二維之圖形或影像產生器上，可用來辨認土壤性質變異之存在。常用之地理統計軟體商業版的如 GS^{3+}、SURFACE、GeoEAS，也有一些大學發行之地理統計公用軟體。空間變異的資料依時間不同，重複地去收集處理的話，就形成了時間變異之資料。

利用地理資訊系統（GIS）的肥力圖分析技術亦可瞭解肥力之空間變異，有關這方面之技術，因本專集有另文介紹，故不在此重複。

陸、土壤肥力精準管理

土壤肥力精準管理之理念乃是 1.田區內的土壤肥力有空間的變異存在。2.此一變異能正確的辨認。3.且此一變異的原因可以有令人信賴的解釋，即會影響到作物的產量、品質或生態環境。4.土壤肥力改良的資材可以正確地施用（Pierce and Nowak,1999）。

一、石灰

田區的土壤 pH 常有空間變異性，因此依土壤 pH 圖施用不同量之石灰常有良好之效果，可以避免局部地區之過量及不足量施用。石灰需要量一般具有高空間相依性但低時間變異性。

圖 3 爲一中密西根田區（300m×600m）之石灰需要量，顯示不同方格大小之取樣方法之石灰需要量分佈稍有所差異（Pierce and Nowak,1999）。對於大區域面積如一個縣之利用地理統計來估計土壤的石灰需要量，可以用來作爲土壤改良決策之參考，如經費、資材需要量之估計。

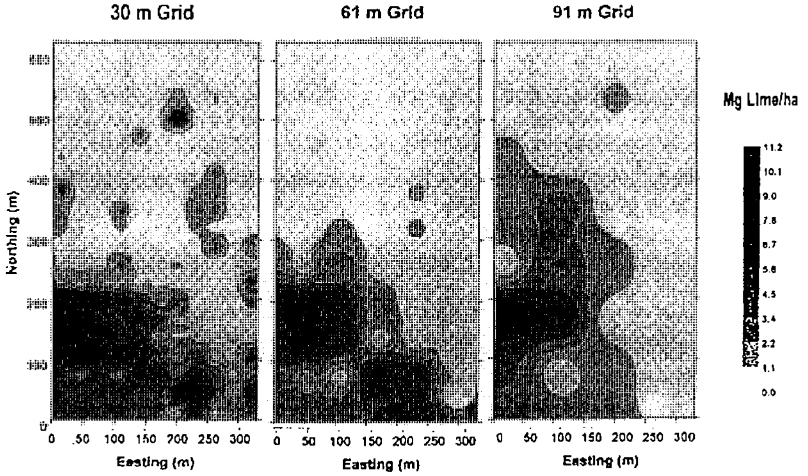


Fig.3. Lime recommendation maps interpolated using inverse distance square for 30- ,61-and 91-m grid soil samples obtained from a central Michigan field [adapted from Pierce and Nowak(1999)]。

二、磷及鉀

土壤磷及鉀之精準管理受到較早之關注，因爲利用土壤磷鉀之測定來作施肥推荐在許多作物已建立了基本資料，如國際肥料工藝協會（IFA，1992）出版之世界肥料使用手冊收集了 100 種作物施肥方法，大部份均有依土壤養分而訂之磷、鉀肥推荐量。而且土壤磷、鉀之測定也較容易，其在區內之空間變異性也較穩定。根據 Pillai(1992)引用連深 1989 年之報告，台灣地區依有效磷(Bray 1)而推荐之 P_2O_5 施用量如表 2，依有效鉀（Mehlich's）而推荐 K_2O 施用量如表 3，這些指標可供作爲水田磷鉀肥精準施用之參考。對土壤有效磷鉀之測定約數年才取一次樣即可。

Table 2. Recommend rates of P for wet rice production in Taiwan.

Available P (Bray 1)		P_2O_5 rate, kg ha^{-1}	
ppm	Rating	1st crop	2nd crop
0-4	Very low	70-80	50-60
5-10	Low	60-70	40-50
11-20	Medium	40-60	20-40
21-50	High	20-40	0-30
>50	Very high	0-30	0-20

Adapted from Pillai (1992)'s citation based on Lian (1989)

Table 3. Recommend rates of K for wet rice production in Taiwan.

Available K (Mehlich's)		K_2O rate*, kg ha^{-1}	
ppm	Rating	1st crop	2nd crop
0-15	Very low	60-70	80-90
16-30	Low	50-60	60-80
31-50	Medium	30-50	40-60
>50	High	0-30	0-40

*Plus 30 kg ha^{-1} K_2O in the case of poorly drained soils [adapted from Pillai (1992)'s citation based on Lian (1989)]

一般對於磷、鉀肥之施用有二種論點，即 1.足量維持（sufficiency maintenance）2.增強維持（buildup maintenance）(Dahnke and Okon, 1990)。後者之理念爲鼓勵一次施下較高量之磷鉀肥，以在一到二年內提高土壤的有效磷和有效鉀濃度，而其次年度則補充被作物移去之養分量。

Goedeken *et al.* (1998)指出長期的精準磷肥施用將使有效磷在田區的空間變異性呈現減低，而且可以減低變異量磷肥施用的必要性。然而 Pierce and Nowak (1999)則認爲變異量施肥仍有其需要性，因爲作物根系的生長在土壤中還是要受到其他因子之影響，產量的不同會造成養分移去量的差異。禽畜糞有機肥之施用屬磷、鉀肥之重投入，由我們在農試所之水稻田施用不同種類有機質肥料試驗顯示它會增加土壤磷、鉀之空間變異性（Fig. 4）。

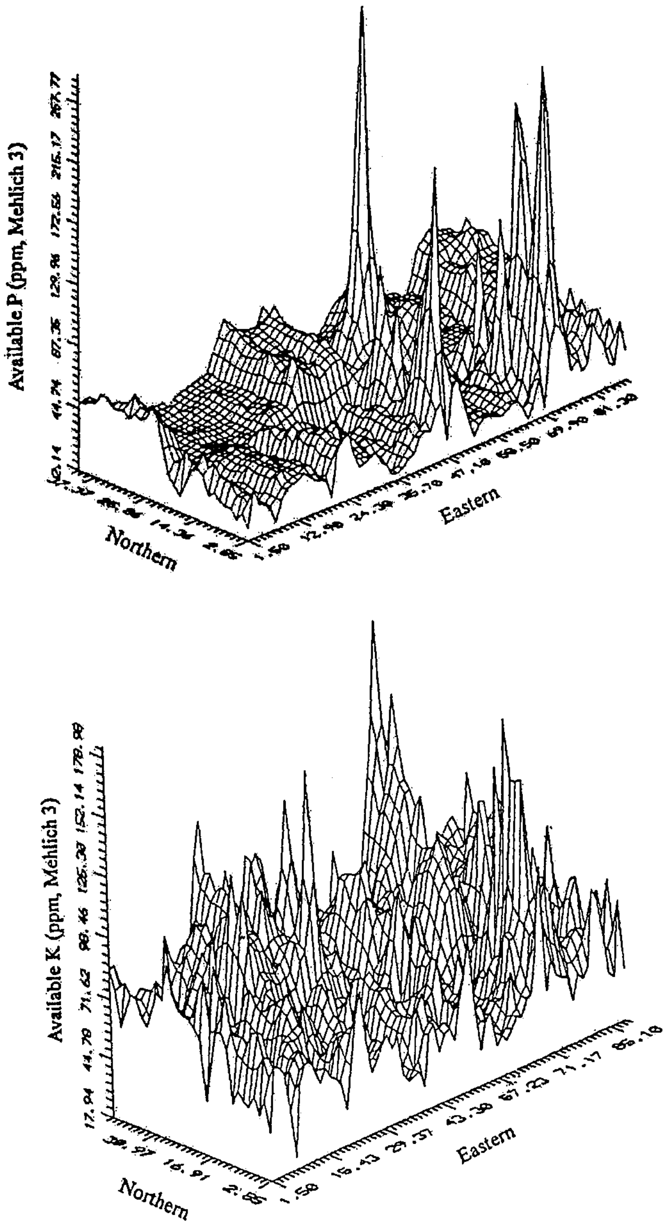


Fig.4. Variation in Mehlich 3 extractable P and K at TARI's No.35 experimental field received different fertilizer treatments.

三、氮

土壤氮素的精準管理要比磷鉀的精準管理複雜，且困難度也較高，這主要是如先前所提到的，氮在土壤中之變異受時間的影響很大。我們可以由 Cahn *et al.* (1994)之報告（如 Fig. 5）看出來，在 1.1 公頃的密集取樣裡，硝酸態氮的含量由 1992 年 5 月 13 日的 8.3 ppm 下降到同年 6 月 15 日的 1.6 ppm，而且空間變異性也呈現較小。

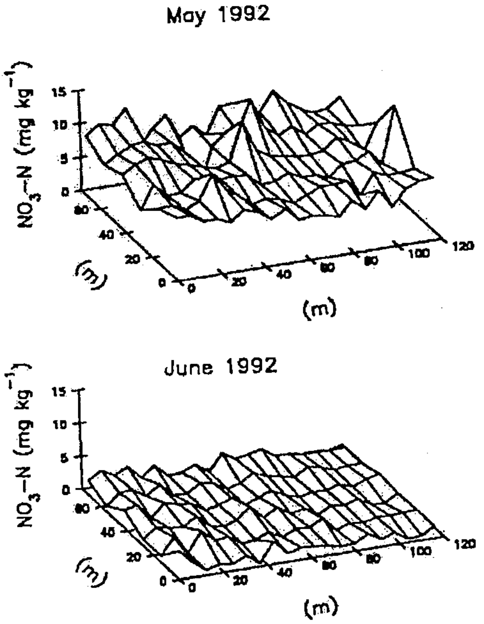


Fig.5. Spatial distributions of raw and residual NO_3-N data (0-15cm) from 1.1 ha area in May and June 1992(adapted from Cahn et al., 1994)

土壤氮素主要以有機態氮的形式存在，而無機態氮主由銨態氮被固定在粘土礦物上，所以土壤總氮因土壤之有機質含量、粘土礦物種類及含量而異，其空間變異即與土壤質地及有機質含量之空間變異有密切之關係。由於氮素在土壤中之空間變異及時間變異性較大之原因，故其取樣密度及頻度就有較高之要求。由於傳統土壤氮素之分析法頗爲耗費時間，故田間土壤氮素之感測就成爲重要之研究課題。根據網際網路搜尋結果，目前國際上大概有四種之土壤硝態氮即時測定器被研發出來，且均申請專利。這些測定器均屬旱作使用機種，至於水田機種仍有待發展。瞭解土壤氮素之動態也可由作物葉片之葉綠素含量或遙測之影像來反推。如加州大學Davis 分校之水稻精準農耕試驗就利用SPAD-502 之葉綠素計作迅速之測定以作爲施肥之參考。

目前精準氮素管理（precision N management）的研究上，採取三個基本的研討方法（Pierce and Nowak, 1999）。

基於水稻收量之生理觀點及上述原則，稻作氮素營養之精準管理有三種策略可供參考：

1. 氮素收支平衡法

利用方格取樣求得殘餘硝酸態氮含量，然後應用插補法產生土壤有效氮圖，由此圖可知各特定點之 NO_3^-含量，再利用下列氮素收支方程式計算各特定點之氮肥需要量。

$$Nf = [Gw \times 1/(Nf /Nav \times Nav/Ns \times Gw/Nt)]-(Nmin + Nin)$$

此處 Nf 爲氮肥需要量，Gw 是目標產量，Nav 根域有效氮量，Nt 是作物含氮量，Ns 是施到作物之預測氮素需要量，Nmin 是淨礦化可供應之土壤氮量，Nin 是種植前土壤無機態氮量。

2. 條帶試驗法

根據各特定點不同條件之氮反應曲線或地景屬性來推荐各特定點之最適施氮量。最常用之試驗步驟爲在田區進行有重複之條帶（strip）施氮試驗，包含不施氮

處理及數個變級，以連續函數（continuous function）方式排列。然後依不同區域田區條件求得最適施氮量。

3. 利用監測植體之氮素來推測氮肥需要量

如測定植被輻射光譜，探求與植體氮及產量之關係來推荐氮肥施用量。亦有使用葉綠素測定值與植體氮之關係來求得適當之施氮量。

柒、管理區之理念

管理區（management zone）爲精準肥培管理之重要理念，它是由農藝專家所提出。管理區的理念是把田區內性質相近之區塊歸類在一起，即劃分管理單位。這個目的是要避免方格取樣時並沒有考慮田區內之其他特徵，而這些特徵包括定量的（quantitative）、定性的（qualitative）及直覺的（intuitive）/歷史性（historical）的(Doerge, 1999)。這些特徵有些是較穩定的，如有機質、pH、EC、土壤顏色、有效性磷鉀含量、土層厚度、土壤病害等；而屬動態性的因子如產量資料、雜草密度與種類、土壤水分、土壤及作物的氮素狀態；屬直覺性或歷史性之特徵如農民對田區特徵之瞭解、大概性之產量變異、過去的耕作狀況、輪作種類等。比較常用來規劃管理區之因子如與產量較有相關性的因子：土層厚度、質地、土壤 pH、土壤水分、土壤養分，或直接就把產量之分佈作爲管理區劃分之指標，如低、中、高產量區，而其後再分析那些是影響不同產量之重要因子。

在管理區之劃分上一些統計技術如線性、非線性、非母數分析如 PPR（projection pursuit regression）、類神經網路（neural network）等分析技術都被利用到（Sudduth *et al.*, 1998）。Anderson *et al.*（1999）也利用迴歸樹（regression tree）分析技術來探討土壤變異對甘蔗產量之影響，以佛羅里達之土壤條件，不同土壤鈣、鎂等級可供劃分預期產量之等級。

由於台灣地區每農戶耕作面積狹小，有礙精準農業之施行，我們認爲管理區之耕作理念較適合台灣，擬利用精準農業技術於作物的合理化管理上。於田間利用標竿插立以界定土壤取樣之方格，透過空間變異分析或地理資訊系統之處理技術，均很容易提供農民利用管理區之理念來去管理他們的農田。德國精準農業學者常主張土壤取樣由農民自己來進行，可大大降低這方面之成本，因此怎樣教育農民精準農耕之土壤取樣技術是我們值得去重視的。

捌、結語

精準土壤肥力管理是作物肥培管理新發展的技術，它的應用乃在田區內就不同代表性位置依不同之土壤肥力給予不同之肥料施用量，故它是一種甚爲合理化之施肥技術，也是永續農業講求維護生態環境所祈求的。傳統土壤肥力變異的精準管理爲先進行方格取樣，後進行土壤 pH、有機質、有效氮、有效磷、交換性鉀、鈣、鎂之測定，然後進行這些屬性的空間變異分析，利用克利金法估算未取樣區之肥力走向，利用等高線繪製軟體繪製土壤肥力的等高線圖，或利用地理資訊系統繪製土壤肥力圖。不同定點之土壤屬性資料與作物產量分佈資料之進一步相關性一般均會加以統計分析，尋找影響產量之重要土壤肥力因子。利用 GIS 圖形套疊之技術可以用來探討土壤肥力之分佈與產量高低之分佈位置是否有明顯之一致性。對於各定點肥料施用量之估算方法目前仍沒有標準之方法可尋，有根據土壤肥力與產量之反應曲線，有根據土壤肥力等級而設定之推荐施肥量，亦有在田間進行條帶施肥試驗，然後加以檢討再做施肥決策，通常本項策略之利用以針對氮肥之施用爲主。管理區

之劃分提供每年或每作能檢討管理策略是否須加修改之機會。以台灣小農之面積，管理區之理念是我們邁向精準農業一項值得考慮之選擇。

玖、引用文獻

1. 郭鴻裕 朱戩良 江志峰 劉滄棽 劉禎祺. 1999. 台灣地區農田土壤品質監測網之建立與應用. 農委會科技計畫年度報告. (未發表)
2. 農林廳. 1999. 肥料要覽. 民國 88 年增定版. 豐年社編印.
3. Ahn, C.W. 1997. Deriving a detailed soil map from hyper-spectral imagery using geo-statistics fuzzy clustering approaches. http://mollisol.agry.purdue.edu /~cahn/paper.html.
4. Anderson, D. L., K. M. Portier, T. A. Obreza, M. E. Collins and D. J. Pitts 1999 Tree regression analysis to determine effects of soil variability on sugarcane yields. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 592-600.
5. Baret, F. 1999. Potentiel de la teledetection pour l'agriculture de precision. Published in L'enjeu francais de l'agriculture de precision, Salon International du Machinisme Agricole-Mercredi 3 mars 1999, Conference-debat organisee par l'INRA, le Cemagref et l'ITCF.
6. Cahn, M. D., J. W. Hummel and B. H. Brouer. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil Sci. Soc Am. J. 58: 1240-1248.
7. Dahnke, W. C. and R. A. Olson. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendation. In" Soil Testing and Plant Analysis: Third Edition" (R. L. Westerman, Ed.), SSSA Book Series No.3, pp. 45-71, SSSA, Madison WI.
8. Doerge, T. A. 1999. Management zone concepts. In "Site-Specific Management Guidelines" published by the Potash & Phosphate Institute (PPI), SSMG-2.
9. Goedeken, M., G. Johnson and B. Raun. 1998. Expectations of precision phosphate management. Better Crops 82: 28-31.
10. IFA. 1992. World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association, Paris.
11. Pierce, F. J. and P. Nowak. 1999. Aspects of precision agriculture. Adv. in Agronomy 67: 1-85.
12. Pillai, K. G. 1992. Rice. In IFA compiled " World Fertilizer Use Manual.
13. Sharpley, A. N. 1997. Dispelling common myths about phosphorus in agriculture and the environment, Watershed Science Institute Technical Paper. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
14. Sudduth, K. A., C. W. Fraisse, S. T. Drummond and N. R. Kitchen. 1998. Integrating spatial data collection, modeling and analysis for precision agriculture. Paper presented at the first International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, Florida, 1-3 June 1998.

Chapter 5 Precision Management of Soil Variability

Mu-Lien Lin, Hon-Yee Guo, Wei-Tin Huang, and Ming-Hui Chang

Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC

ABSTRACT

Precision management of soil variability is the application of information and technology to manage spatial and temporal variability of soils associated with crop growth for the purpose of improving crop production and environment quality. Soil collections with grid sampling, benchmark soil sampling or landscape directed soil sampling are usually the first step in assessing the spatial variation. Techniques of geostatistics and/or geographic information system are applied to investigate the soil fertility variability. Reliable interpretation on soil fertility variability affecting on crop yield, crop quality, and/or the environment is needed in order to implement the site-specific inputs. Main category of precision fertility management includes liming and management for N, P and K. For N, the temporal component of variability can be larger than its spatial variability. Soil pH and available P and K in soils tend to have stable spatial variability. The site-specific recommendations for the inputs of P and K usually rely on soil tests; whereas that for N recommendation is more complex. Research on precision N management to date has taken three basic approaches: N budgeting, N strip experiments within fields and crop monitoring of N status. Management zones are a good concept for precision fertility management. Numerous statistical methods, including linear, non-linear, and non-parametric regression analyses such as projection pursuit regression (PPR) and neural network analysis have been used for modeling yields as a function of soil data in identifying management areas within fields. Since Taiwan's agriculture belongs to small-holder production, it is suggested that the application of management zone concepts worth us to consider if we want to implement the precision agriculture in Taiwan.

Key words: Precision agriculture, Soil variability, Geostatistics, Soil fertility, Precision management, Soil sensor

65 -77, 2000

第六章　3S(GIS、GPS、DSS)技術在精準農業上之應用

劉滄棽　陳琦玲　林毓雯　劉禎祺
行政院農業委員會農業試驗所農業化學係

摘要 ---------- 66
壹、前言 ---------- 66
貳、地理資訊系統之發展現況 ---------- 67
參、全球定位系統之發展現況 ---------- 67
肆、決策支援系統之可能應用 ---------- 68
伍、GIS、GPS 和 DSS 之結合應用 ---------- 69
陸、結語 ---------- 71
柒、參考文獻 ---------- 71
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 77

第六章　3S(GIS、GPS、DSS)技術在精準農業上之應用

劉滄棽　陳琦玲　林毓雯　劉禎祺
行政院農業委員會農業試驗所農業化學系

摘　要

精準農業乃是針對農田及植栽的變異性給予最適當的耕作決策與處理，以減少資財之耗費，增加收益並減輕環境的衝擊。傳統之農耕方式將整個田區之作物、土壤等特性視為均一，故無論是灌溉水量、肥料或是農藥之施用量，均是針對整個田區施用。精準農業則針對田區間各種作物、土壤、環境因子具空間變異之特性，利用先進的電腦、通信與自動化科技，配合適當時間、空間尺度之田間調查作業及地理資訊系統、空間變異分析模式，以精確地且全面性地掌握田區作物、土壤與環境特性，進而經由作物模式、決策分析模式，以決定最佳之耕作策略及產量預測，並利用地理資訊系統建立各種空間分布圖層。

關鍵詞：地理資訊系統、全球衛星定位系統、決策支援系統、作物生長模式。

壹、前　言

精準農業乃是針對農田及植栽的變異性給予最適當的耕作決策與處理，以減少資財之耗費，增加收益並減輕環境的衝擊。傳統之農耕方式將整個田區之作物、土壤等特性視為均一，故無論是灌溉水量、肥料或是農藥之施用量，均是針對整個田區施用。精準農業則針對田區間各種作物、土壤、環境因子具空間變異之特性，利用先進的電腦、通信與自動化科技，配合適當時間、空間尺度之田間調查作業及地理資訊系統、空間變異分析模式，以精確地且全面性地掌握田區作物、土壤與環境特性，進而經由作物模式、決策分析模式，以決定最佳之耕作策略及產量預測，並利用地理資訊系統建立各種空間分布圖層。最後並利用衛星定位與農業自動化科技執行既定之耕作策略。例如自動記錄分析各別小田區的作物產量與耕作處理間的相關性，以做為農場經營決策的參考。

欲達到精準農業針對田間之變異性給予最適當的耕作決策之目的，必須有一套完備且準確的作物模式，方能針對田區之變異進行作物生長之模擬，並提供正確的管理策略。如能利用水稻生長模式CERES-Rice，進行參數校正，使適用於本省生產環境，進而發展決策分析模式，則可整合即時定位系統及遙測小組所傳輸之田間資料，提供最佳施肥策略。精準農業之精神在於能針對田間各種環境變異，提

供準確的耕作策略，因此在決策系統發展之初，必須能夠精確了解田間肥力之動態變化與作物生長之關係。

貳、地理資訊系統之發展現況

地理資訊系統(Geographic Information System, 簡稱為 GIS)是一個電腦化、大量化之空間資料管理系統，用來進行資料儲存、擷取、操作、分析及展示使用者所定義之各種需求資料。地理資訊系統發展已有一段歷史，距第一個地理資訊系統的雛形系統有四十年之久，目前已廣範的應用在各行各業。

一般而言，地理資訊系統的資料可分成圖形資料(Graphic data)及屬性資料(Attribute data)兩種，圖形資料通常是點、線、面等三大類資料，而屬性資料則是指文數字資料(Character data)。圖形資料與屬性資料則透過地理編碼(Geocode)作動態連結，因此圖形資料與數字資料是一體的，可同時作修改更新或選取。通常地理資訊系統都已具備下列的功能：1.可以處理用多種手段及方法獲取之不同類型的數據，並利用一定的程序儲存於不同的數據層中；2.可以快速調出不同層次的資料，進行作圖或修改；3.具有處理空間資料的功能，如投影、疊圖分析、圖形分離、空間測量等；4.數據輸入不受比例尺的限制；5.具有良好的人機交互介面(周，1996)。進一步更要具有擴充發展的空間，例如可以整合向量與網格資料，可以進行立體空間資料的展示分析，並可整合影像資料進行處理。亦即它可以處理向量(vector)資料與方格(raster)資料、進行向量資料的疊合、資料庫分析、影像處理及方格分類、容易數化能力、即時的拓僕邏輯分析等功能；在影像處理功能上應具正射糾正、建立數位地形模型、立體繪製等功能。

現在的地理資訊系統多已能結合資料庫，使地圖資訊與文字資訊透過鏈結可以交互查詢，或更進一步發展出地理資訊資料庫，將整個圖形資訊納入資料庫架構中，形成一個三維的資料庫，由此資料庫亦可經由資料拮取界面取得指定地點之相關數據。另一方面，由於地理資訊系統強大的圖形展示及空間分析功能，故可以作為開發專家系統展示界面的平台，方便立即顯示專家系統分析資料的成果。

參、全球定位系統之發展現況

一、全球定位系統

全球定位系統(Global Positioning System, 簡稱為 GPS)，即是利用位於地球同步軌道上的同步衛星，以其相對位置的關係，來測量出精確的位置。GPS 在進行大範圍、大面積的地面測量時，往往受限於地球本身的弧度與測量儀器的精密程度，甚至於當時的天候狀況或測量人員本身的許多因素，而導致測量的結果產生或多或少的誤差，故透過 GPS 與地理資訊系統(Geography Information System, GIS)的結合應用，更可以使我們快速、精確而完整地定出遙測影像或其他發生問題農地的位置，並迅速配合農業機械的使用，處理農田肥力之差異性，以發揮其即時、有效及正確的優越性。GPS 動態定位技術已日趨成熟，應用亦極為廣泛，有學者(林與李，1999)即採用 Leica 及 Ashtech 等兩種 GPS 即時動態定位系統，依照傳統導線測量、地物及地形測量、高差測量極路線測量等方式，分別進行數據獲得、圖形繪製及現地放樣等工作，以檢驗 GPS 動態測量之適用性及不同 GPS 動態定位系統間之差異性，進而建立對 GPS 動態定位技術之信心及開發 GPS 動態測量之作業規範。而基於成本考量，且有些 GPS 之應用必須是在運動狀態下，如自然資源調查、土地利用管理、地面載具導航、航空攝影測量及

海洋探測等，皆需要高精度之 GPS 動態測量(Leick, 1996)。近年來 GPS 研究之重點在於增加求解的精度並減少觀測時間爲主。而對於結合 GPS 與 GLONASS 的研究，Cook(1997)及 Gouzhva(1995)以長時間對 GLONASS 衛星進行觀測顯示，GLONASS 衛星壽命較短暫，而某些衛星也偶有訊號不良或資料脫落的情形發生。如針對與 GPS 相近之 GLONASS(Global Navigation Satellite System)系統資料進行處理，使得 GPS 與 GLONASS 資料能納入同一相位二次差模式中聯合平差，而在 GPS 6 顆、GLONASS 4 顆衛星以上之情況下，使得求解成功率最佳可達 90%以上(陳等，1999)。

二、國家級衛星控制網

內政部自八十二年度開始辦理「應用全球定位系統實施台統一閩地區基本控制點測量計畫」，於台閩地區設立八個衛星追蹤站、一等衛星控制點一〇五點及二等衛星控制點六二一點(追蹤站及一等點資料如附錄)，並可供各公私機關或個人申請八個衛星追蹤站之全天候二十四小時連續觀測資料。另自八十四年起，台灣省地政處進行三等點之補建、新建，至八十八年已補建新建 1596 點，仍繼續辦理中(曾、儲, 1999)。

肆、決策支援系統之可能應用

決策支援系統(Decision Support System, 簡稱爲 DSS)即利用資料庫及決策模式協助判斷的方式，可以應用於各領域，可以綜合複雜的資料及訊息，得到量化的結果。其中之決策模式即可以視爲專家系統，此系統或爲簡單之方程式，或爲複雜之方程式組，或如近年來廣爲利用之類神經網路。一般而言，資料項目爲可量化之數值，且資料項間之關係確定者適合使用方程式或方程式組構成之數學模式，資料項間之關係尚未研究清楚，或含有無法量化之項目者可利用類神經網路技術歸納已收集之資料中，可能之原因和結果間的關係，但無法完全釐清其間變化之機制。

一、類神經網路

神經網路是模擬人腦的機制，以神經元爲最小運算單元而組成之神經系統。每個神經元之貢獻值爲由全部連結至此神經元之鏈結權重的總和，並且呈非線性的排列。類神經網路常存在有許多神經元，其連結方式決定此網路之結構。目前最常被應用的結構應屬(multi-layer perceptron, MP) 及前饋式類神經網路(feed forward network)，此等網路含有多層架構，每層亦含有多個神經元，相鄰兩層間之神經元全數彼此依序相互連結。典型的 MP 最外的兩層稱爲輸入層與輸出層，兩層間存在著一個或多個隱藏層，資訊則依序由輸入層傳至隱藏層最後由輸出層輸出結果。許多研究指出經由隱藏層內充足的神經元自體運算學習之後的類神經網路非常適合解決決策邊界值或求解任何連續函數等問題(De Viller *et al.*, 1992)。類神經網路常有兩個執行階段(phases)稱之爲學習(learning)及回復(recall)，現在前饋式類神經網路最常採用的學習法爲倒傳(back propagation, BP)學習法，傳遞網路模式屬於類神經網路中的監督性模式，基本上由輸入層（Inpput Layer）、隱藏層（Hidden Layer）與輸出層（Output Layer）組成。輸入層包含若干輸入單元，係用來推估輸出結果的輸入參數，輸入單元的數量與選擇視應用課題而有所不同。隱藏層爲連結輸入與輸出的運算層，隱藏層的數量可以不只一層，層數增加可能有助於提升模擬的準確性，但相對付出較大的電腦運算成本，大多數的應用案例係使用一層隱藏層；隱藏層亦由若干神經單元組成，單元的數量並沒有制式的規定，最常見的方式爲輸入單元及輸出單元總數的一半。輸出層係使用

者期望推估的輸出項目，亦由若干輸出單元組成。在監督性模式的架構下，由使用者提供包含輸入及輸出的學習範例資料，以便對倒傳遞類神經網路加以訓練（trainning），藉由訓練樣本及逐步遞減期望值與觀測值之差距的方式來調整網路內各神經元所有鏈結之權重(weights)，達到網路自體學習的機制。我們可利用訓練樣本在前後兩次回復階段之差值來評估網路的概括能力，如果網路經過良好的學習，將可靠地推估全區資料。BP 學習法之類神經網路已成功運用於影像分類(Hepner, *et al*., 1990; Civco，1993)。近年漸有利用類神經網路在集水區單場暴雨之水文模擬（詹及孫，1999）、土地評估及區位選址（黃及施，1999）等方面。

二、作物模式

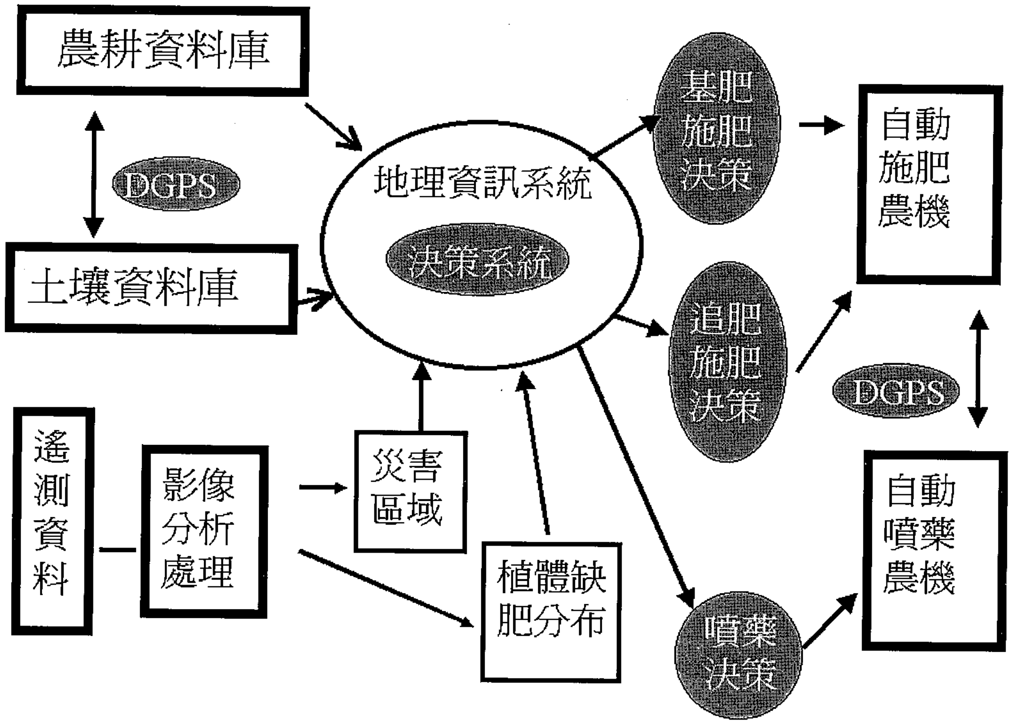
水稻之研究已有數十年之歷史，就影響其生長之可能因子已有許多研究成果可供利用，包括氣象、品種、土壤等主要因子，均有量化之經驗式或經驗政之理論模式產生，故應可使用數學模式進行研究。作物生長模式一般可分爲經驗模式及機制模式。經驗模式是以一種數學函數曲線來符合實驗數據，並藉此函數曲線來解釋所觀察的資料。此法已經廣泛地被應用於作物產量的預測（Nelson and Dale，1978；Pitter，1977），針對水稻生長，國內亦有一部分相關的研究發表（朱，1976；郭等，1980）。機制模式則是假設在複雜的系統所觀察的現象，均可以一些基本的生物物理假說或法則來描述，在依據這些假說或法則建立適當的數學方程式，並加以整合成一動態性機制模式。近年來國外發展的作物模式，機制模式已漸漸取代經驗模式，包括 EPIC、SORGF、TUBERS、SOYGRO、SWATR,CROPR、CERES 等模式（林及莊，1987），其中又以美國 IBSNAT（International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer）計畫之研究群，所發展出來的多項作物模式最廣爲應用，其中有關於水稻生長之模式爲 CERES-Rice。國內外已有多項研究引用此模式進行（鄔等，1998；梁等，1992；Singh and Ritchie，1993），惟國內之研究重點僅在水稻品種之參數校正，以及應用本地氣象資料進行模擬，對於田間肥力則設定在最佳狀態，並未進一步驗證有關土壤肥力的參數。

有關農田氮素循環之研究，主要包括有氮肥施用後被作物吸收、與有機物結合、生物固定、脫氮損失、淋洗及逕流（Hill, 1991；嚴，1995）。其中有關氮素流失量則受氣候、氮肥型態與施用量、土壤特性、作物種類和品種、土地管理、灌溉及植被影響（Cameron and Haynes，1986；Hill，1991）。此外，應用土壤－作物系統中氮素之動態模式，來評估氮肥效率、氮素脫氮及淋洗損失等，是一種有效的評估方式。國外已有許多研究單位應用機制模式，來模擬氮素在環境中之循環與轉化，如 CERES(Jones and Kiniry, 1986)、NCSWAP (Clay *et al*., 1985)、NCSOIL(Molina *et al*.,1983；Hadas *et al*., 1987)與 PAPRAN (Seligman and van Keulen, 1981)等模式，以探討農地氮素在環境中之轉化情形，應用於氮肥需求量之估算、栽培制度與耕作制度之評估等，亦可進一步應用於氮肥施用量對環境影響之評估。

伍、GIS、GPS 和 DSS 之結合應用

精準農業追求的理想是(1)最佳化之作物產量、田區表現與生產力；(2)量測各種種子、品種、化學物質及土壤之變化表現；(3)追蹤、繪製與分析田區每一平方公尺之表現，農人得以瞭解田區之每一部位之產量表現好或是壞；(4)改善農田之管理決策(Reid,1999)。因此發展精準農業所需要之核心科技爲(1)在定位之田間操作時定之位系統；(2)產量感應器或監測器以便

量測精準操作之效果；(3)用來展示及分析精準農業所需之資料繪圖系統；(4) 土壤取樣與分析以提供影響作物生長之土壤性質資料；(5)透過遙測技術來另外取得作物生長環境特性；(6)地理資訊系統以提供經準農業所需之決策支援系統；(7)變率施用科技以便變率施用投入資材等。



所以精準農業整體之架構是透過 GIS、GPS 和 DSS 之聯結，配合完整之土壤資料庫、變率施用機械、各種感應器及遙測等周邊技術的發展應用，才能執行精準農業。在精準農業之運作上，地理資訊系統可以用於管理及分析各種有關於作物生產及農藝因子之空間資料；地理資訊系統不但用來整合各不同類型資訊，同時也是各種決策支援工具之界面，所以地理資訊系統是精準農業之核心。例如：地理資訊系統可以展示分析所得之圖形資訊，使我們更瞭解田區之作物產量與土壤肥力、病虫害、雜草及其它種種之因子等之交互作用影響，同時也讓我們由這些空間資訊進行決策分析，決定在田區的那些地方做一些特定的對策管理，達到經濟、環保、高產之目標。

一個理想的精準農業專用之地理資訊軟體除了具備有一般地理資訊系統軟體的創新、維護、分析與展示空間資料等基本功能外，它應該還具整合傳統之向量圖形資料與影像處理之工具；同時它亦應具有透過全球定位系統(GPS)對移動載體軌跡追蹤與即時記錄(產量或感應之訊號)、與輸出信號(施肥或噴藥)；這些功能或可分開爲若干子系統分工運作或結合爲一完整之系統。

在精準農業操作的決策支援系統應具備有田區下列之基本空間資料，包括：地形、土壤類型、土壤氮、磷、鉀及其它養分之濃度、土壤水分及土壤 pH 等。其它作物之輪作、耕犁、施肥及施藥、產量

等資料也應存入資料庫。這些資料可以用來計算田區各地所應投入恰當的肥料、農藥與除草劑。

在台灣目前精準農業之資訊系統應用所待解決之問題爲：(1)地理資訊系統之軟體價位高，一般農戶無法接受，極待開發一公開且適用於精準農業的地理資訊軟體；(2)目前各種空間資料庫之定義(如不同磷素之萃取方法)與格式不一，需要建立標準之資料定義與交換格式；(3)空間資料庫之精密度不足，需加強建立適合精準農業經營的各項資料庫或開發即時感測儀器(短期間不易達成)收集田間資料；(4)缺乏整合性之田間管理知識庫，需建立一簡單有效的田間管理知識庫，進行田間管理決策。

陸、結語

未來之農業越來越系統化且越來越像一門生意，就像精準農業一樣依賴資料蒐集與分析來決定對策與施行方向。受到影響的除了農民之外，還包括了農業相關的企業、農機生產工業、學術研究人員，甚至一般大眾。由於農田的管理愈來愈系統導向，因此可預料由精準農耕所產生的資料將成爲包括研究在內的許多新的方向的基礎。這些產出的資料將被期望可應用於政策的制定、法律規章的調整，以及環境保護的功能。精準農耕發展的栽培技術將可在生長期中改變或增強作物的生長狀態，而作物模式將可提供作物生長潛力及各時期生長狀態的藍圖，決策支援模式則向農場經營者提供包括設施、環境條件、作物生長及市場預測等管理資訊。現在在地理資訊及衛星定位系統的發展上，已有許多商品化的軟硬體可供選擇，但是否應放棄現有之產品，以避免在精準農業推展的過程中受到地理資訊軟體之限制，是目前就應該思考的問題。而在作物模式方面，有經過相當多學者研究驗證的作物模式可供引用，在精準農耕之研究中亦可提供豐富的資料進行本土化的工作。

柒、引用文獻

1. 朱良基。1976。台灣西部地區水稻最適產量預測方程式釐定之研究。中國統計學報。第十四卷第二期：5224-5229。
2. 周宜強，1996。國內 GIS 軟體應用與發展現況。中華地理資訊通訊，1(4): 11-17。
3. 林正鎊、莊作權。1987。農地作物適栽評估模式之研究。農委會。76 農建-8.1-林-7.8 計畫報告書。
4. 林思源、李振壽。1999。GPS 動態測量及分析，11-18 頁。第十八屆測量學術及應用研討會論文集(一)。1999 年 9 月 9-10 日。宜蘭縣。
5. 詹仕堅、孫志鴻。1998。類神經網路在集水區單場暴雨水文模擬之應用。1998 中華地理資訊學會研討會論文集。
6. 黃凱易、施勝誠。1998。類神經網路應用於地理資訊系統空間決策分析—以假擬輕製造廠廠址選擇爲例。1998 中華地理資訊學會研討會論文集。
7. 曾清涼、儲慶美。1999。GPS 衛星測量原理與應用。成功大學衛星資訊研究中心。台南。
8. 陳明華、曾清涼、余致義。1999。GPS 結合 GLONASS 衛星單一時刻單頻觀測量之即時動態定位研究，75-85 頁。第十八屆測量學術及應用研討會論文集(一)。1999 年 9 月 9-10 日。宜蘭縣。
9. 陳吉村、郭鴻裕、劉滄棽、朱戩良。

1996。『臺灣地區農田土壤肥力管理及改良資訊系統』簡介。土壤肥料通訊。第五十六期: 5-9 。
10. 陳建安。1996。動態 GPS 法用於地面微小變動量之監測。國立成功大學航空太空工程研究所碩士論文。
11. 郭文鑠、曾文柄、楊之遠、鄭淑賢。1980。台灣地區氣象因子雨水到產量預測模式之初步研究。中央氣象局氣象學報。第二十六卷第一、二期：71-76。
12. 梁連勝、陳琦玲、漆匡時。氣象變化對水稻產量影響之模擬研究。農委會計畫 81 農建－2.1－林－28－2(6)期末報告。
13. 郞宏潘、楊明宗、林俊隆。農牧業溫室氣體減量策略規劃及衝擊評估（二）。環保署專題研究計畫 EPA-87-FA44-03-44 期末報告。
14. 嚴式清。1995。長期施用豬糞尿有機肥對地下水污染之影響及合理施用量之評估。有機質肥料合理施用技術研討會專刊。84 年 5 月 11-12 日，台灣，台中。pp.191-199。
15. Adamas,M.L. and S.E.Cook.1997.Methods of on-farm experimenatation using precision agriculture technology.ASAE Paper No.973020 .
16. Baird, Henry S,1985,(Model-based image matching using location) , Cambridge, Mass.: MIT Press
17. Cameron, K. C. and R. J. Haynes. 1986. Retention and movement of nitrogen in soils. pp.166-241. In: R. J. Haynes et al.(ed.) Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academic Pressing.
18. Civco, D.L., 1993. Artificial Neural Network for Land Cover and Mapping, International Journal of Geographical Information System, 7(2): 173-186.
19. Clay, D. E., C. E. Clapp, J. A.E. Molina and D. R. Linden. 1985. Nitrogen-tillage-residue management I. Simulating soil and plant behavior by the model NCSWAP. Plant Soil. 84: 67-77.
20. Cook, G. L. 1997. GLONASS Performance, 1995-1997, and GPS-GLONASS Interoperability Issues, Navigation: Journal of the Institute of Navigation, Vol. 44(3): 291-298.
21. Davies, R.(Roy),1990,(Machine vision: theory , algorithms , practicalities) , London : Academic
22. De Villers, J., and E. Barnard, 1992. Backpropagation Neural Nets with One and Two Hidden Layers, IEEE Transactions on Neural Networks,4(1): 136-141.
23. Eral, D. C. R., P. N. White, B. S. Blackmore, and R. J. Godwin. 1996. Precision farming. The Management of Variability Landwards Vol. 51(4): 18-23.
24. Gouzhva, Y. G., A. G. Gevorkyan, P. P. Bogdanov, V. V. Ovchinnikov, and I. G. Pushkina. 1995. Getting in sync: GLONASS Clock Synchronization. GPS World : 48-56.
25. Hadas, A., J. A. E. Molina, S. Feigenbaum and C. E. Clapp. 1987. Simulation of nitrogen-15 immobilization by the model NCSOIL. Soil Sci. Soc. Am. J. 51 : 102-106.
27. Hepner, G. F., T. Logan, N. Ritter, and N. Bryant, 1990. Artificial Neural Network Classification Using a Minimal Training Set : Comparison to Conventional Supervised Classification, Photogrammetric Engineering & Remote sensing, 56(4): 469-473.

28. Hill, M. J. 1991. Origins of nitrate in water. pp. 59-76. In: H. Michaell (ed.) Nitrates and nitrites in food and water. Ellis Horwood Ltd.
29. Jones, C.A. and J. R. Kiniry (ed.) 1986. CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development. Texas A & M University Press College Station, Texas USA.
30. Leick, A. 1996. GPS satellite surveying. pp. 380-388.
31. Macbratney, A. B. and M. J. Pringle. 1997. Spatial variability in soil-implications for precision agriculture. Keynote paper In First European conference on precision agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.
32. Max J. Egenhofer，1990，(Cognitive and linguistic aspects of geographic space :preprints of three papers),Santa Barbara, Calif. : National Center for Geographic Information & Analysis
33. Molina, J. A. E., C. E. Clapp, M. J. Shaffer, Chichester and W. E. Larson. 1983. NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformations in soil: Description, calibration and behavior. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 85-91.
34. Nelson, W. L. and R. F. Dale. 1978. A methodology for testing the accuracy of yield predictions from weather-yield regression models for corn. Agron. J. 70: 734-748.
35. Oliver, M. A., Z. Frogbrook, R. Webster, and C. J. Dawson. 1997. A rational strategy for determing the number of cores for bulked sampling of soil. Soil factor section. In First European conference on precision agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.
36. Pitter, R. L. 1977. The effect of weather and technology on wheat yields in Oregon. Agric. Meterol. 18: 115-131.
37. Robert Finkelstein，1994,(Unmanned vehicle systems: military and civil robots for the 21st century & beyond)，Arlington, VA: Pasha Publications
38. Seligman, N. C. and H. van Keulen. 1981. PAPRAN: A simulation model of annual pasture production limited by rainfall and nitrogen. pp.192-221. In:M. J. Frissel and J. A. van Veen.(ed.) Simulation of Nitrogen Behavior of Soil-Plant Systems. (PUDOC: Wageningen, Netherlands.)
39. Singh, U. and J. T. Ritchie. 1993. Simulating the impact of climate change on crop growth and nutrient dynamics using the CERES-Rice model. J. Agric. Meteorol. 48: 819-822.
40. Simmelsgaard, S. E. and J. Djurhuus. 1997. The possubilities of precision fertilization with N, P, and K based on plant and soil parameters. Soil factor section. In First European conference on precision agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.

附錄：

內政部衛星追蹤站及衛星控制點一覽表

一、衛星追蹤站一覽表

點位名稱	點位種類	點位編號	所在地	機密等級
陽明山	衛星追蹤站	YMSM	台北市士林區	一般
墾丁	衛星追蹤站	KDNM	屏東縣恆春鎮	一般
鳳林	衛星追蹤站	FLNM	花蓮縣鳳林鎮	一般
北港	衛星追蹤站	PKGM	雲林縣北港鎮	一般
太麻里	衛星追蹤站	TMAM	台東縣太麻里鄉	一般
金門	衛星追蹤站	KMNM	金門縣金沙鎮	一般
馬祖	衛星追蹤站	MZUM	連江縣南竿鄉	一般

二、一等衛星控制點一覽表

點位名稱	點位種類	點位編號	所在地	機密等級
七星山	一等衛星控制點	N001	台北市北投區	一般
小八里分	一等衛星控制點	N002	台北市北投區	一般
大坪山	一等衛星控制點	N003	台北縣深坑鄉	一般
燦光寮山	一等衛星控制點	N004	台北縣雙溪鄉	一般
大古山	一等衛星控制點	N011	桃園縣蘆竹鄉	一般
龜崙山	一等衛星控制點	N012	桃園縣龜山鄉	一般
觀音	一等衛星控制點	N013	桃園縣觀音鄉	一般
下員坑	一等衛星控制點	N020	台北縣石門鄉	一般
牛牯嶺	一等衛星控制點	N021	新竹縣新豐鄉	一般
李棟山	一等衛星控制點	N022	新竹縣尖石鄉	一般
大分林山	一等衛星控制點	N023	新竹縣北埔鄉	一般
牛埔山	一等衛星控制點	N028	新竹市香山區	一般
觀霧	一等衛星控制點	N032	新竹縣五峰鄉	一般
三貂角	一等衛星控制點	N035	台北縣貢寮鄉	一般
米曲瑤山	一等衛星控制點	N039	宜蘭縣礁溪鄉	一般
三星山	一等衛星控制點	N040	宜蘭縣南澳鄉	一般
蘭崁山	一等衛星控制點	N041	宜蘭縣南澳鄉	一般
溪子口山	一等衛星控制點	N043	台北市文山區	一般
蘇澳港	一等衛星控制點	N052	宜蘭縣蘇澳鎮	一般
南山	一等衛星控制點	N053	宜蘭縣南澳鄉	一般
林望眼山	一等衛星控制點	N054	台北縣烏來鄉	一般
槓子寮	一等衛星控制點	N068	基隆市中正區	一般
枕頭山	一等衛星控制點	N085	桃園縣復興鄉	一般
天送埤	一等衛星控制點	N090	宜蘭縣三星鄉	一般
中壢休息站	一等衛星控制點	N091	桃園縣中壢市	一般

鹽草林山	一等衛星控制點	N096	宜蘭縣頭城鎮	一般
蔡厝莊	一等衛星控制點	M002	雲林縣四湖鄉	一般
貓兒干	一等衛星控制點	M003	雲林縣崙背鄉	一般
尖子頂	一等衛星控制點	M007	南投縣鹿谷鄉	一般
環山	一等衛星控制點	M031	台中縣和平鄉	一般
巴蘭	一等衛星控制點	M036	南投縣仁愛鄉	一般
頭拒山	一等衛星控制點	M043	台中縣新社鄉	一般
王田山	一等衛星控制點	M044	台中縣大肚鄉	一般
鐵砧山	一等衛星控制點	M045	台中縣外埔鄉	一般
公司寮庄	一等衛星控制點	M046	苗栗縣後龍鎮	一般
馬那邦山	一等衛星控制點	M047	苗栗縣泰安鄉	一般
托皿山	一等衛星控制點	M048	苗栗縣頭屋鄉	一般
浸水	一等衛星控制點	M049	彰化縣埔鹽鄉	一般
東勢	一等衛星控制點	M075	台中縣東勢鎮	一般
虎子山	一等衛星控制點	M081	南投縣埔里鎮	一般
九分二山	一等衛星控制點	M083	南投縣國姓鄉	一般
樟普寮	一等衛星控制點	M085	南投縣南投市	一般
石門山	一等衛星控制點	M089	南投縣仁愛鄉	一般
達見	一等衛星控制點	M091	台中縣和平鄉	一般
王功	一等衛星控制點	M092	彰化縣芳苑鄉	一般
斗南交流道	一等衛星控制點	M093	雲林縣斗南鎮	一般
佳里	一等衛星控制點	S003	台南縣佳里鎮	一般
魁斗山	一等衛星控制點	S004	台南縣仁德鄉	一般
北嶺山	一等衛星控制點	S005	台南縣玉井鄉	一般
大尖山	一等衛星控制點	S020	雲林縣古坑鄉	一般
松子腳山	一等衛星控制點	S021	嘉義縣民雄鄉	一般
大棟山	一等衛星控制點	S022	台南縣白河鎮	一般
前東港	一等衛星控制點	S023	嘉義縣布袋鎮	一般
多納	一等衛星控制點	S024	高雄縣茂林鄉	一般
梅山村	一等衛星控制點	S025	高雄縣桃源鄉	一般
新高山	一等衛星控制點	S026	南投縣信義鄉	一般
塔塔加	一等衛星控制點	S027	南投縣信義鄉	一般
廓亭山	一等衛星控制點	S028	高雄縣甲仙鄉	一般
紗帽山	一等衛星控制點	S031	澎湖縣馬公市	一般
七美	一等衛星控制點	S032	澎湖縣七美鄉	一般
鳳山	一等衛星控制點	S034	高雄市小港區	一般
東藤枝	一等衛星控制點	S035	高雄縣桃源鄉	一般
蛇彈	一等衛星控制點	S036	屏東縣泰武鄉	一般
塭子	一等衛星控制點	S040	屏東縣佳冬鄉	一般
琉球嶼	一等衛星控制點	S041	屏東縣琉球鄉	一般

北機場	一等衛星控制點	S044	高雄縣九如鄉	一般
林內山	一等衛星控制點	S045	高雄市三民區	一般
頂楓港	一等衛星控制點	S058	屏東縣獅子鄉	一般
加蚋埔	一等衛星控制點	S047	屏東縣三地鄉	一般
北大武山	一等衛星控制點	S048	屏東縣泰武鄉	一般
大山母山	一等衛星控制點	S049	屏東縣恆春鎮	一般
爐芝潭山	一等衛星控制點	S059	台南縣楠西鄉	一般
埔姜林	一等衛星控制點	S064	高雄縣旗山鎮	一般
五虎寮	一等衛星控制點	S070	嘉義縣番路鄉	一般
新營	一等衛星控制點	S091	台南縣新營市	一般
頂港子墘	一等衛星控制點	S092	嘉義縣太保市	一般
玉里山	一等衛星控制點	E006	花蓮縣卓溪鄉	一般
月眉山	一等衛星控制點	E007	花蓮縣壽豐鄉	一般
米侖山	一等衛星控制點	E008	花蓮縣花蓮市	一般
鯉魚山	一等衛星控制點	E011	台東縣台東市	一般
三仙台	一等衛星控制點	E012	台東縣成功鎮	一般
三間屋山	一等衛星控制點	E014	台東縣長濱鄉	一般
大森山	一等衛星控制點	E015	台東縣蘭嶼鄉	一般
都蘭山	一等衛星控制點	E017	台東縣延平鄉	一般
加奈美山	一等衛星控制點	E018	台東縣大武鄉	一般
美奈田主山	一等衛星控制點	E019	台東縣延平鄉	一般
壽卡	一等衛星控制點	E042	台東縣達仁鄉	一般
西川山	一等衛星控制點	E044	台東縣太麻里鄉	一般
舞鶴	一等衛星控制點	E047	花蓮縣瑞穗鄉	一般
明利	一等衛星控制點	E048	花蓮縣萬榮鄉	一般
崇德	一等衛星控制點	E050	花蓮縣秀林鄉	一般
綠島	一等衛星控制點	E063	台東縣綠島鄉	一般
網調口	一等衛星控制點	E072	花蓮縣卓溪鄉	一般
豐濱	一等衛星控制點	E077	花蓮縣豐濱鄉	一般
栗園	一等衛星控制點	E080	台東縣海端鄉	一般
天祥	一等衛星控制點	E091	花蓮縣秀林鄉	一般

Chapter 6 Applications of GIS, GPS, and DSS in Precision Agriculture

Tsang-Sen Liu, Chi-Ling Chen, Yu-Wen Lin, and Jen-Chyi Liu
Department of Agricultural Chemistry,Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC

ABSTRACT

Agriculture is becoming more of a system and it is also becoming more of a business. As a system, the constituents involved with and affected by precision agriculture are heading towards a direction of more directed interaction driven by the data which can be provided. The constituents of precision agriculture include the farmer, agribusiness, the agricultural equipment industry, university researcher, and the general public. As the process becomes more systems oriented, we can expect the data derived from precision agriculture to form the foundation some new opportunities including research. It is also reasonable to expect that these data will provide information for legal decisions, government regulation, and environmental accountability. Cultural practices will evolve from precision agriculture that provide more opportunities for changing the growth and development of the crop during the growing seasons. Crop models will serve as a "blueprint" for the potential growth and development of the crop at a point in time. Management models will be developed to perform whole-farm management, as a system of equipment, environmental factors, crops grown, and crop markets. To deal with variations prevailing in fields and crops of planted, precise agriculture provides the best approach decision-making of farm management to raise income, reduce cost waste as well as lessen the impact on the environment. In conventional agriculture, features of crop and soil in the field were frequently regarded as homogeneous; hence, irrigation, fertilizers and pesticides were applied very uniformly. While precision agriculture copes with spatial variations of crops, soil, and environment in field by technologies of computer, communication and automation. That is to incorporate the field survey of appropriate timing and space scale, geographic information system, and spatial variation analysis model. Thus, not only the best cultivation strategy and yield prediction but also various map layers of space distribution could be well made through crop model and decision analysis model. Eventually, the strategy can be carried out by satellite position and automatic technologies.

Key words: Geographic Information System, Global Position System, Decision Support System, Cropping Model.+

水稻精準農業(耕)體系之研究
第七章　遙測科技在精準農業之應用—遙測水稻種植分布之實例
79-92, 2000

第七章　遙測科技在精準農業之應用—遙測水稻種植分布之實例

劉振榮　陳哲俊　林唐煌
國立中央大學太空及遙測研究中心

摘要 ---------- 80
壹、前言 ---------- 80
貳、發展精準農業體系之問題分析 ---------- 81
參、發展精準農業體系之建議 ---------- 88
肆、結語 ---------- 88
伍、引用文獻 ---------- 91
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 92

第七章　遙測科技在精準農業之應用—遙測水稻種植分布之實例

劉振榮　陳哲俊　林唐煌
國立中央大學太空及遙測研究中心

摘　要

整合各類之遙測資料，以利衛星遙測技術在農作物、環境變遷及天然災害等相關應用研究之發展已成爲下一世紀之趨勢。在農業上傳統的農作物面積及產量的測量方法不但耗費頗大且不具時效，尤其是台灣地區面積狹小、地形和地物複雜，傳統測量方法更是困難重重。因此，在講求精準農業的現今，遙測技術在計算農作物種植面積及產量上的應用研究，已是刻不容緩，亦爲我國遙測技術應用研究發展的重要方向之一。而水稻是台灣最主要的農作物，對於種植面積及產量估算等工作，尙需人工判識，頗爲耗時耗力，如能利用衛星觀測，則可輕鬆而有效率的完成。本研究之主要目的即在發展利用衛星觀測資料估算水稻種植面積之模式，以供台灣地區計算水稻種植面積及產量預估之應用。

關鍵詞：衛星遙測、精準農業、水稻種植面積。

壹、前　言

衛星資料具有觀測時間短、觀測範圍大、觀測資料一致性佳及密集的觀測週期等優點，已廣泛地應用於農業、林業、地質、海洋、空氣品質及全球環境變遷等方面。目前美國、加拿大、澳洲等先進國家均已結合遙測、航測與資訊技術於農業應用上，未來勢必成爲主流趨勢。尤其未來我國如加入世界貿易組織(WTO)，爲提升農業上的競爭力，尤應朝高科技方向發展。

水稻是台灣首要的農作物之一，因此對於其相關的應用研究更顯得非常重要。以往國內對於水稻種植的調查，完全利用林務局所拍攝之航空照片經人工判識，製作成 50 公尺地面解析之數位檔案，並以此估算台灣地區水稻種植之面積。以台灣的農作面積，平均一期約需製作 6500 張航空照片，判識工作則需 30 人(陳哲俊等，1989)，所花費的人力物力甚鉅。若能利用遙測資料(衛星或空載)判識，不但節省人力物力，最重要的是具時效性及資料的一致性。有鑑於此，本研究嘗試建立利用衛星觀測資料計算台灣地區水稻種植面積之常規程序及應用模式，期能提供一快速而準確之計算模式供相關單位研究參考與使用。

在利用衛星觀測資料計算水稻種植面積之前有幾個重要步驟必須完成。第一

為水稻生長週期光譜反應資料之建立，因為水稻在不同的生長期所反應出來的光譜特性差異頗大。再者需具備有分辨水稻與其他地表覆蓋物之能力，以避免誤判。而另一個重要的步驟便是衛星觀測資料的大氣校正，雖然衛星的觀測頻道已盡量選擇所謂的窗區頻道，但還是無法避免大氣的影響，尤其是可見光頻道受空氣分子及氣溶膠的散射影響更是不可忽略。大氣的影響常常使地表的資訊模糊化，而提昇了地表物在辨識上的困難度及誤差，故衛星觀測資料的大氣校正是絕對重要且必要的的步驟，而大氣校正模式之準確度，亦將為影響研究結果之重要關鍵因素之一。因此，本研究除了建立水稻種植面積的計算模式外，在衛星資料的大氣校正方面亦持續的深入研究及改進，期能擴充衛星資料之應用範圍並發揮衛星遙測之最大效能。

貳、研究方法及步驟

由於水稻在不同生長期的光譜反應差異頗大，以及水稻區域並非理想的蘭氏面(Lambertian surface)和衛星觀測時幾何條件的變化等因素，使得水稻種植地區所反應的輻射強度將隨時間地點的不同而有所變化。若直接使用衛星衛所觀測之輻射強度值作為判識是否為水稻像元(pixel)，會有較大的誤判產生。因此，本研究將利用水稻之反射率作為判識水稻像元的基礎，此外亦將不同觀測幾何的多時衛星資料予以正規化，期能將誤判的機率減至最低。

台灣地區面積狹小，農作種植及土地利用較為精密，在衛星遙測資料之應用上需具備較高的地面解析力。目前台灣地區所能取得最佳之地面解析的衛星資料為SPOT 全波段(Pan; 510~730 nm)影像資料，具 10 公尺的解析力，但此頻道並未涵蓋植被特性光譜反應之最佳波段-紅光，無法有效地應用於水稻種植面積的遙測。而SPOT彩色影像資料雖僅具 20 公尺的地面解析力，若配合全波段 10 公尺的解析力，可獲得 12.5 公尺的地面解析，且其三個觀測頻道中亦涵蓋紅光波段，非常適合於遙測植被光譜使用。因此，本研究將使用SPOT 彩色影像資料估算北台灣地區水稻種植面積。

一、水稻動態光譜特性之分析

台灣地區水稻的耕作每年約分為兩期，每一期又可概分為五個階段，即插秧、最高分蘗、抽穗開花、糊熟及收穫等五個時期，以 1994 年桃園縣為例，依前台灣省糧食局所提供的每個階段生長時間如表 2.1 所示。

表 2.1 1994 桃園縣稻作生長週期時間表。

期作	開始	盛期	結束
一期稻作			
插秧	3/05	3/10 ~ 3/21	3/28
最高分蘗	5/04	5/06 ~ 5/08	5/12
抽穗開花	6/15	6/20 ~ 6/25	6/28
糊熟	6/25	6/30 ~ 7/10	7/15
收穫	7/02	7/15 ~ 7/24	7/28
二期稻作			
插秧	7/25	7/30 ~ 8/05	8/10
最高分蘗	9/10	9/14	9/20
抽穗開花	10/15	10/18 ~ 10/22	10/25
糊熟	11/13	11/16 ~ 11/20	11/28
收穫	11/22	11/25 ~ 11/29	12/05

為瞭解水稻在各生長週期實際的光譜反應特性，本研究亦曾於 1992 年利用可攜式光譜儀(SE590)配合標準反射板之使用，在水稻生長的各個階段進行實地之量測，以獲得水稻各生長期之反射率。由於 SE590 觀測的波段範圍包括 SPOT 的三個遙測頻道，為配合 SPOT 的觀測資料使用，將 SE590 觀測資料擷取出 SPOT 三波段的光譜反射資料，其結果如表 2.2 所示(周，1993)。由表中可看出 SPOT 第一、第二波段的反射率變化不大，但第三波段則有相當大的變化情形產生，這也是在先前所提及的植被在紅光波段具有非常明顯的反射特性。此外，從表中亦可發現水稻在前兩階段，即插秧和最高分蘗期，XS3 頻道之反射率有相當明顯的變化情形。因此，本研究採用水稻生長期前兩階段的資料作為預估模式之應用研究，以達成預估水稻種植面積之目標。

表 2.2 水稻在 SPOT 三個遙測頻道的反射率隨生長週期之變化情形(周志平，1993)。

水稻生長階段	XS1	XS2	XS3
插秧	.0828	.0894	.171
最高分蘗	.0475	.0285	.460
抽穗開花	.0460	.0307	.410
糊熟	.0425	.0427	.303
收穫	.0499	.0463	.332

註: XS1 為 SPOT 第一波段，500 ~ 590 nm; XS2 為 SPOT 第二波段，610 ~ 680 nm；XS3 為 SPOT 第三波段，790 ~ 890 nm。

二、衛星影像資料正規化

對於不同時間的衛星影像觀測資料，會因不同的大氣狀況及衛星觀測幾何等因素，而有所變化。為使衛星資料能真實地反應地表的特性，影像資料正規化(Normalization)的步驟是必要的，尤其在利用多時的影像資料。本研究之主要目標物為水稻，因此配合水稻生長週期的特性，設定影像正規化的處理步驟，主要原理是應用水稻生長期前兩階段的反射資料，配合影像中不變之地表覆蓋物，利用線性回歸以完成影像之正規化。為避免正規化過程中有外差的現象產生，在選擇不變的地表物時，分別挑選了高、中、低三種具代表性的物體，高反射率之地物—主要以裸露地為主，中反射率之地物—主要以都市地區為主，低反射率之地物—則以水體地區為主。整個正規化的步驟如圖 2.1 所示(周，1997)。

本研究使用 1993 年 SPOT 的多時影像資料，其中插秧期為 7 月 29 日，最高分蘗期為 9 月 17 日，以最高分蘗期的影像為參考影像，進行線性回歸分析。結果如圖 2.2 至圖 2.4 所示，分別代表 SPOT 第一、二、三頻道的分析結果，圖中顯示了良好的線性關係，因此本研究將採用線性之正規化轉換模式，而其正規化之線性轉換係數則如表 2.3 所列。

三、水稻種植面積之計算

在利用 SPOT 資料估算水稻種植面積之步驟中，首先需將影像中正確之水稻種植地區的像元萃取出，經統計分析所獲得水稻之特性資料後，應用於大範圍面積之估算。在 SPOT 衛星影像選取水稻像元的過程中，本研究使用糧食局水稻分布圖及地籍圖資料兩種輔助資料，以減少誤差的產生。糧食局水稻分布圖為前台灣省糧食局針對台灣地區兩個生長期進行航空照片

的拍攝，經人工判識的方式，以百分之五十的面積為判識標準，所獲得的水稻種植面積的數位資料，地面解析為 50 公尺，如圖 2.5 所示。另一輔助資料則是桃園地區的地籍圖資料，此資料為向量形式，比對五千分之一基本圖存取，包括農地編號、地號及段號，本研究僅用到農地之資訊，即農地與非農地。

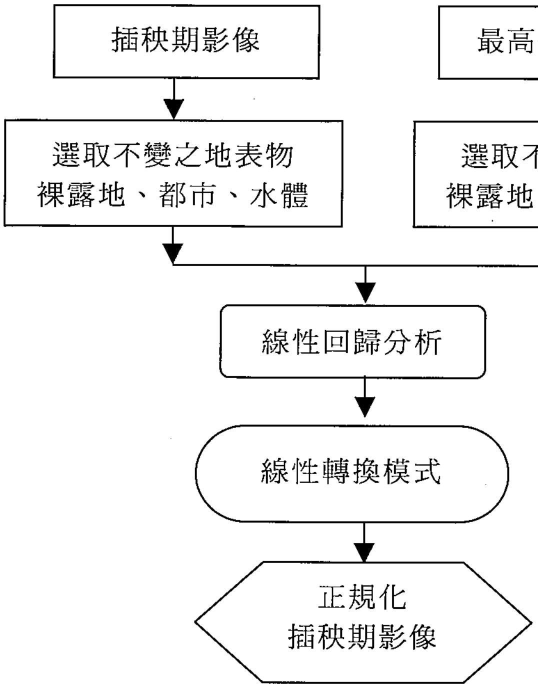


圖 2.1　多時影像正規化流程(周昶成，1997)。

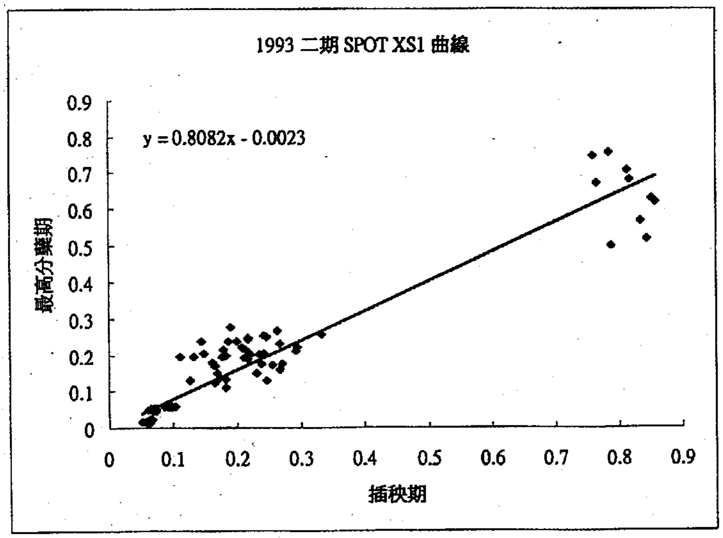


圖 2.2　1993 年桃園地區二期水稻 SPOT XS1 之正規化關係。

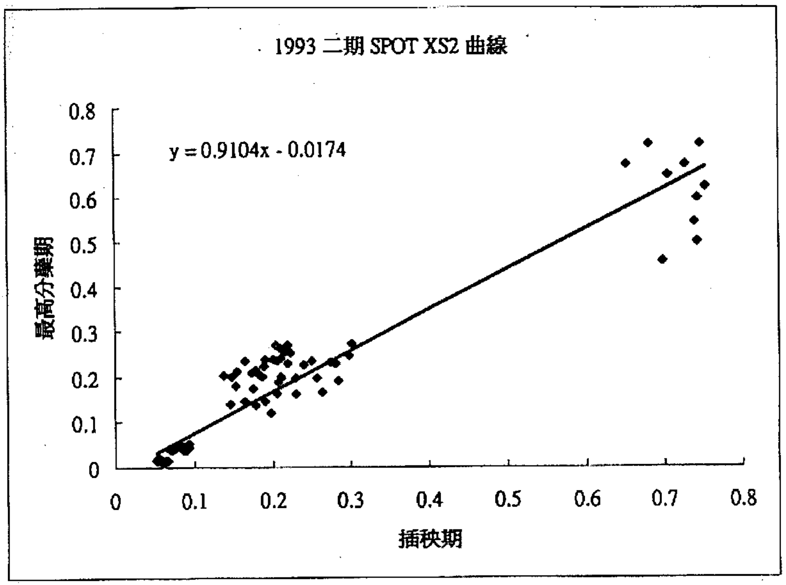


圖 2.3 1993 年桃園地區二期水稻 SPOT XS2 之正規化關係。

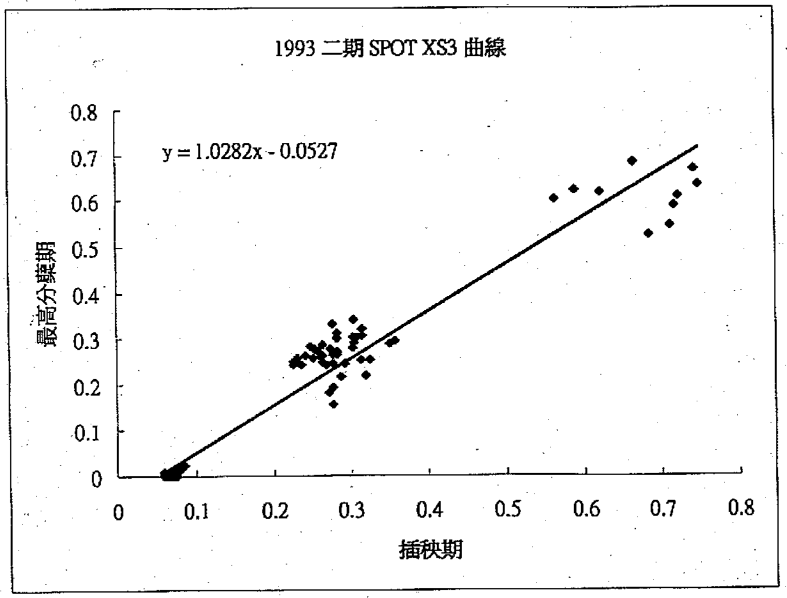


圖 2.4 1993 年桃園地區二期水稻 SPOT XS3 之正規化關係。

表 2.3　1993 年 SPOT 影像資料正規化轉換式係數(周，1997)。

Y = a X + b		
SPOT 頻道	a	b
XS1	-0.0023	0.8082
XS2	-0.0174	0.9104
XS3	-0.0527	1.0282

圖 2.5　1994 年桃園縣市地區二期水稻分布圖，其中白色代表水稻像元(糧食局)。

1.水稻像元之萃取

糧食局所提供的水稻分布圖的解析度為 50 公尺，而 SPOT 衛星影像的解析度則為 12.5 公尺，為相互配合使用，將水稻分布圖重新取樣(resmapling)成為 12.5 公尺，加上地籍圖農地資料的應用，如此便可從 SPOT 衛星影像獲得高準確度的水稻像元。

2.水稻像元之光譜特性分析

本研究選用兩張 1993 年桃園地區二期稻作的影像進行分析研究，分別為插秧期的 7 月 29 日和最高分蘗期的 9 月 17 日。首先進行影像之正規化，再配合糧食局的水稻分布圖及地籍圖資料擷取真正代表水稻的像元，對初步選取的水稻像元做多時多波段的 Isodata 非監督式分類 (unsupervised classification) ，亦即共有 6 個頻道的資料進行分類，分類結果則如表 2.4 所列(選取 5 類；周，1997)。

經過分析研判，本研究認為第Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ三類為種植水稻的像元，而第Ⅰ和第Ⅴ類則為非種植水稻像元，並以其為水稻種植與否的判識標準。主要原因為: (1)糧食局水稻分布圖的解析為 50 公尺，對於 SPOT 的 12.5 公尺是不足的，所以根據分布圖所選取的水稻像元，仍有誤差的存在，需藉由其它的條件加以過濾。(2)水稻從插秧期到最高分蘗期在 SPOT 第三頻道的反射率會有明顯的增大現象。(3)即使是同一地區，相鄰農地的插秧日期也可能有數日之差異，造成同一地區水稻像元反射率值的變化較大。

表 2.4 1993 年水稻像元 Isodata 之分類結果。

類別	I (mean)	II (mean)	III (mean)	IV (mean)	V (mean)
插秧期 (反射率)	.1635	.1869	.16778	.2551	.3004
最高分蘗期(反射率)	.1670	.3412	.4295	.4078	.3557
像元數目	689	6635	5963	3992	1773
所佔百分比	3.6	34.8	31.3	21	9.3

3.水稻分布影像

在水稻類別決定後，利用平行分類法選擇兩個標準差值為水稻像元分布的範圍，即設定水稻像元反射率值之上下限，作為 SPOT 影像中水稻像元的判識標準，如此便可獲得新的水稻分布影像。圖 2.6 即為利用 SPOT 影像資料所獲得之 1993 年桃園縣二期水稻種植面積的分布情形(周，1997)。圖中所估算水稻種植的面積和糧食局計算的水稻面積頗為接近。雖然糧食局計算的水稻面積潛在最大 50%的誤差存在，但在補償作用的效應下，所估算水稻之總面積的誤差應不至於太大。而圖 2.7 (周，1997)則為整個利用 SPOT 影像資料估算水稻種植面積之步驟。

本研究再以 1994 年度資料作為測試，以評估本研究結果的準確性及適用性。首先依前述之正規化步驟處理 1994 年資料後，而在水稻像元之萃取的步驟中，則使用 1993 年所得到的水稻分布圖替代糧食局的水稻分布資料。對於所選出之水稻像元進行 Isodata 的分類工作，依分類結果訂定水稻像元之判識標準後，便可得到應用 SPOT 影像所估算的 1994 年桃園地區二期水稻的分布，如圖 2.8 所示(周，1997)。

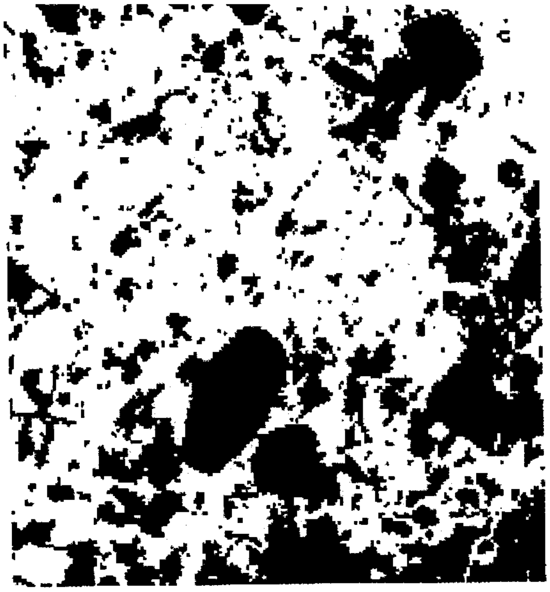


圖 2.6 應用 SPOT 衛星資料所計算 1993 年桃園地區二期水稻的分布圖，其中白色代表水稻像元。

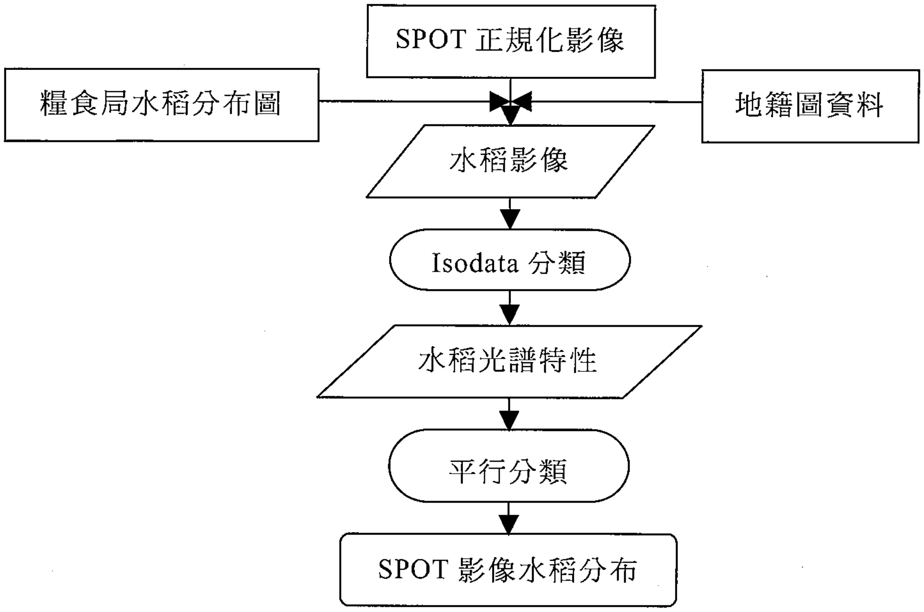


圖 2.7　利用 SPOT 影像資料估算水稻種植面積之流程。

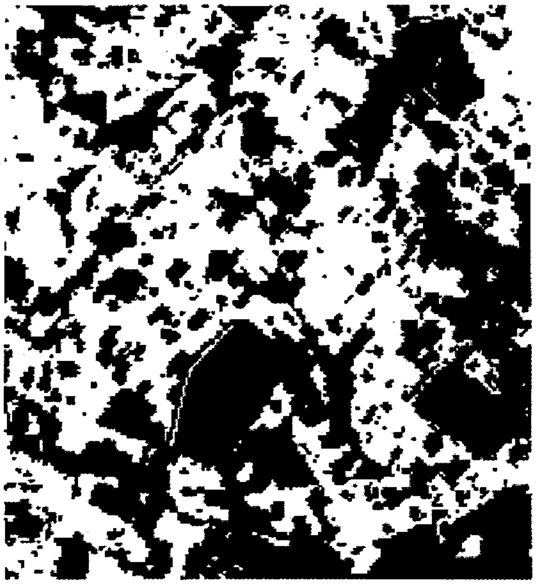


圖 2.8　應用 SPOT 衛星資料所計算 1994 年桃園地區二期水稻的分布圖，其中白色代表水稻像元。

參、結果之比較分析

本研究利用 1993 及 1994 年 SPOT 影像資料計算桃園地區二期水稻種植面積，為瞭解研究結果之準確性，特與糧食局完成的水稻分布圖做分析比較。表 3.1 為 1993 年 SPOT 的分類結果與糧食局水稻分布比較結果，若以糧食局的資料為標準計算，則水稻種植面積估算的差異約為 11%。而表 3.2 為 1994 年 SPOT 的分類結果與糧食局水稻分布比較結果，其差異則降為 4%。主要原因為 1993 年水稻像元選取的過程是根據糧食局的資料，而 1994 年則是利用已經過本研究改善的 1993 年之水稻分布資料，因此所選擇的水稻像元具有較高的正確性。

表 3.1 1993 年 SPOT 的分類結果與糧食局水稻分布之比較(周昶成，1997)。

		SPOT 分類結果 (像元數)	
		是	否
糧食局水稻分布 (像元數)	是	1149	334
	否	510	555

表 3.2 1994 年 SPOT 的分類結果與糧食局水稻分布之比較(周昶成，1997)。

		SPOT 分類結果 (像元數)	
		是	否
糧食局水稻分布 (像元數)	是	865	504
	否	448	731

此外，在結果的比較中，對於 SPOT 認為不是水稻而糧食局認為是，或 SPOT 認為是水稻而糧食局認為不是的像元，做進一步的分析。從插秧期與最高分蘗期的兩張 SPOT 影像中，在 SPOT 認為不是而糧食局認為是水稻的像元中，大部份無法顯現出水稻生長的光譜變化特性，極有可能是裸露地，所以這一部份應該是糧食局誤判的結果。而在 SPOT 認為是而糧食局認為不是水稻的像元中，大部份的像元在插秧期的反射率都偏低，可能是水位較高所影響，但在最高分蘗期的影像上反射率已有增加的趨勢，這與水稻生長的反射率變化情形相當地符合，所以這一部份也應該是代表水稻的像元。當然還有其他情形，如在插秧期這些地區被水所覆蓋，到了水稻的最高分蘗期時長出綠色的植物，不過本研究認為，類似這樣的地區，即使有面積應該也不大。

肆、討論及建議

本研究結果顯示，利用衛星觀測資料計算水稻種植面積可行性極高。若能實際地應用，相信對於台灣地區水稻種植面積的估算及水稻產量的預估，有著莫大的助益。針對本研究之結果提出以下幾點討論:

一、傳統水稻種植面積判識工作之改進

糧食局利用航空照片經人工判識，以 50%為判識的標準，獲得 50 公尺解析之水稻分布圖，基本上已經隱含了最大 50%的誤差，且人工判識具有不客觀、時效性差及浪費人力等缺點，有改進的必要。利用衛星觀測資料計算水稻種植面積具較高的地面解析度，可將原 50 公尺改進為 12.5 公尺，可將判識的誤差減小。而在水稻的判識標準則是利用其生長週期的光譜反應特性，不但具有合理、客觀的判識標準且極佳的時效性，可改進傳統判識工作的各項缺點。未來如有更高解析的衛星資料，如 EROS、IKONOS 及 ROCSAT-2 等皆為公尺級的解析度，則應用之程度將更為精密。

二、影像正規化步驟之探討

從研究流程顯示，水稻像元的反射率

值是整個研究結果的關鍵所在，故如何從影像中求得水稻正確之反射率就成為水稻種植面積預估的一個重要步驟。基本上衛星的觀測資料必須經過大氣再傳送至衛星的感測器，因受大氣的影響故無法直接由衛星資料獲取地表的正確資訊，需將大氣的影響量去除後始能得到真實的地表資訊，大氣的影響量稱為大氣效應，而去除大氣效應的步驟則稱之為大氣校正。本研究並未對衛星影像做大氣校正，而是以正規化的步驟取代之，實際上正規化的步驟是屬於統計分析，會隨著不同的個案而有所變化。以本研究之兩個個案而言，影像正規化轉換係數的變化頗大，如表 4.1 所示。以最能反應水稻生長光譜特性的第三頻道而言，係數 b 由 1993 年的 1.0282 到 1994 年的 0.7890 約有 20% ~ 30%的變化程度，顯示具有極高的不穩定度。再者，若所取得插秧期與最高分蘗期的影像資料均在大氣效應嚴重的情況下，經正規化之影像仍無法去除大氣效應，即影像中之水稻像元受大氣影響而無法顯現其光譜反應的特性，增加水稻像元辨識上的誤差。此外，若無法同時取得插秧期與最高分蘗期的影像資料時，亦無法進行正規化之步驟。因

表 4.1　1993 年及 1994 年影像正規化轉換係數之比較。

1993 年		
Y = a + b X		
	A	b
XS1	-0.0023	0.8082
XS2	-0.0174	0.9104
XS3	-0.0527	1.0282
1994 年		
XS1	0.0575	0.7798
XS2	0.0499	0.7611
XS3	0.0488	0.7890

此，解決的根本之道還是需由影像的個別大氣校正著手，如前所述，衛星觀測資料的大氣校正在任何的遙測應用上是絕對重要且必要的的步驟。故在後續的研究中，對於衛星遙測資料的大氣校正方面將做進一步的深入探討，期能擴充衛星資料之應用範圍並發揮衛星遙測之最大效能。

三、衛星影像大氣校正之探討

一般而言，大氣效應主要來自於空氣分子和氣溶膠的散射作用，亦模糊了地表的資訊，尤其是在可見光頻道，而這類大氣效應的訂正並不容易，特別是來自於氣溶膠散射的效應。也因此許多應用衛星資料求取大氣氣溶膠光學參數的研究方法陸續在發表中，其中大致可分為兩大類，一為選取地表反射率穩定且低的物體，如水體或暗密植被(Dark Dense Vegetation; DDV)，以減少因物體反射之不確定性(uncertainty)所造成氣溶膠光學參數計算上的誤差。如 Ahern *et al.* (1977)、Liu *et al.* (1996)等研究。暗密植被法即利用影像中已知反射率的暗密像元(pixels)求取大氣氣溶膠的光學厚度，但若影像中的暗密像元極少或不存在，則將產生較大的誤差(Liu et al., 1997)。此外，氣溶膠的分布具強烈的區域特性，暗密植被法在應用時假設影像範圍中的氣溶膠是均勻的分布，似乎有違常理(Holben et al., 1991)。另一類則為所謂的對比法(contrast method)，即在地表物不改變的前提下，利用不同時間所觀測衛星資料間的差異，求取大氣氣溶膠的光學參數。如 Tanre *et al.* 於 1988 年提出之結構函數法(Structure Function method; SF)應用於 Landsat TM 衛星資料推求氣溶膠光學厚度，獲得相當不錯的結果。而 Holben *et al.,* 於 1992 年亦將結構函數法應用於 AVHRR 資料求取氣溶膠光學參數，亦有不錯的研究結果。此外，Sifakis *et al.* 分別於 1992 和 1998 年將對比法應用於 SPOT 和 Landsat-5 TM 衛星資料，以求取都會區的氣溶膠光學厚度及空氣污染的情形，但因無氣溶膠的地面觀測資料配合，而以最乾淨(clear)的影像資料當作參

考，將免不了誤差的增加。

國內關於這方面的研究則有 Liu *et al.*, (1997)，亦即應用並改進結構函數法以求得台灣地區的氣溶膠光學參數，以提供衛星資料在大氣校正上之應用，目前在 SPOT 衛星資料的校正已有初步的成果(參閱圖 4.1)。若能將此結果應用於衛星影像的大氣校正，相信對於水稻面積估算之準確度、時效性、適用的範圍與水稻生長期皆有明顯的助益，不再侷限於水稻生長的插秧期與最高分蘖期，或具多時的衛星影像始能進行水稻種植面積的預估。

若能應用衛星資料大氣校正之結果，則遙測水稻面積的流程將修正為圖 4.2 所示。由流程圖中顯示，一但水稻動態光譜資料庫建立完成，在水稻每一生長的階段，水稻種植的面積均可經由衛星影像計算獲得。而整個計算過程中最重要的兩個步驟則為大氣校正模式和水稻動態光譜反應資料庫的建立，將為後續研究的重點。

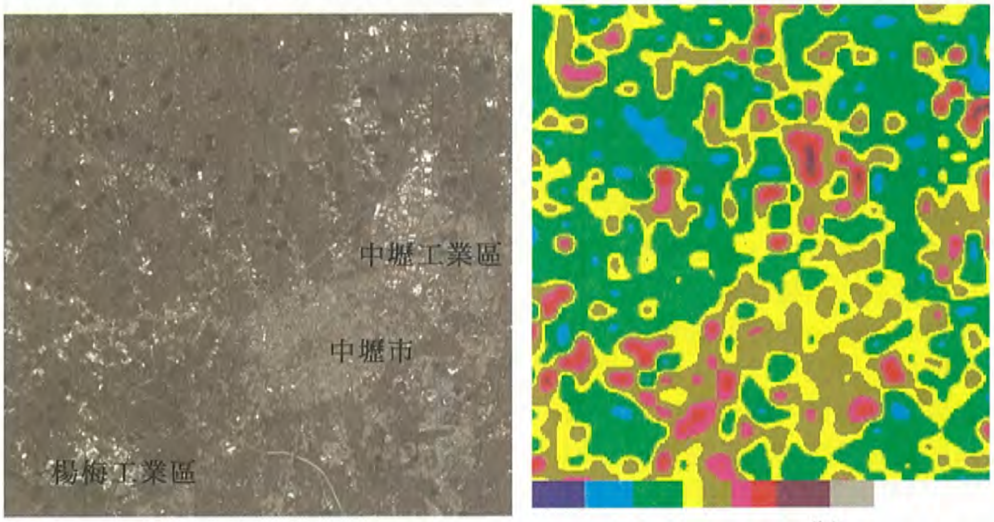


圖 4.1 (a)應用 SPOT XS1 中壢地區衛星影像資料 1998/6/27。(b)由(a)所計算之大氣氣溶膠分布情形。

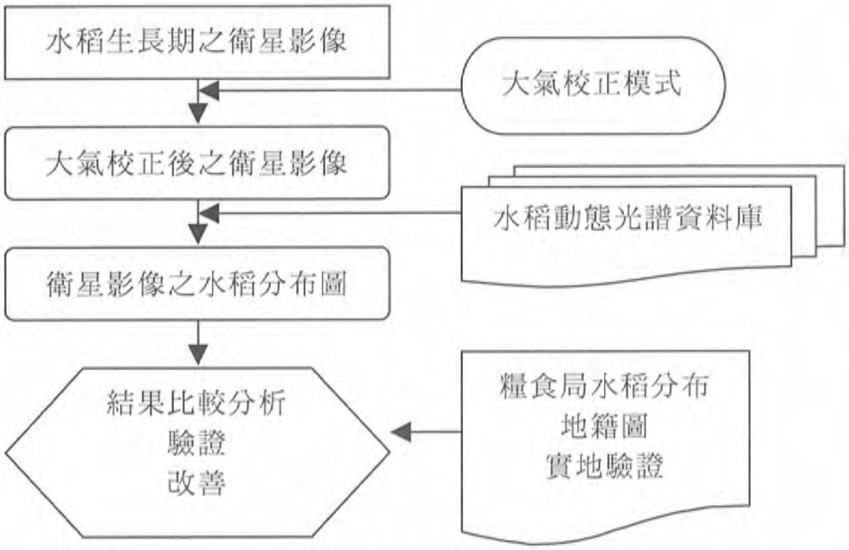


圖 4.2 利用衛星資料估算水稻種植面積之修正流程。

伍、引用文獻

1. 陳哲俊　楊金江　陳珠燕　甘果碩　劉建慧. 1989. 78 "SPOT" 衛星資料之應用研究。行政院農委會專題研究報告。98pp。
2. 台灣地區稻米生產量調查報告。1993. 年一、二期、1994 年一、二期。台灣省政府糧食局。
3. 周志平. 1993. 植被動態光譜之研究。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
4. 陳哲俊　楊金江　陳珠燕　張彬　徐滄淇　王宏基　劉建慧. 1995. 利用衛星影像資料改進稻作種植面積自動估測及生育查報計劃。行政院農委會研究計劃期末報告。
5. 周昶成. 1997. 利用多時 SPOT 衛星影像以研究水稻反射率動態光譜及其應用。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
6. Ahern F. J., D. G. Goodenough, S. C. Jain, V. R. Rao, and G. Rochon. 1977. Landsat atmospheric corrections at CCRS, In Proceedings of the Fourth Canadian Symposium on Remote Sensing, Quebec City, May, 583-595.
7. Holben B. N., T. F. Eck, and R. S. Fraser. 1991. Temporal and spatial variability of aerosol optical depth in the Sahel region in relation to vegetation remote sensing. INT. J. Remote Sensing, Vol. 12, No. 6, 1147-1163.
8. Holben, E. Vermot, Y. J. Kaufman, D. Tanre, and V. Kalb. 1992. Aerosol Retrieval over Land from AVHRR Data-Application for Atmospheric Correction. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 30, No. 2, pp. 212-222.
9. Liu C. H, A. J. Chen, and G. R. Liu. 1996. An Image-based Retrieval Algorithm of aerosol Characteristics and Surface Reflectance for Satellite Images. INT. J. Remote Sensing, Vol. 17, No. 17, 3477-3500.
10. Liu G. R, T. H. Lin, and A. J. Chen. 1997. An Improved Method to Determine Aerosol Optical Depth from SPOT Data. COAA '97-First International Ocean-Atmosphere Conference, 18-19 Oct 1997, Washington, D. C., USA.
11. Sifakis N. I. and P. - Y. Deschamps. 1992. Mapping of Air Pollution Using Satellite Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, No. 10, 1433-1437.
12. Sifakis N. I., N. A. Soulakellis, and D. K. Paronis. 1998. Quantitative Mapping of Air Pollution Density Using Earth Observations: a new processing method and application to an urban area. INT. J. Remote Sensing, Vol. 19, No. 17, 3289-3300.
13. Tanre D., P. Y. Deschamps, C. Devaux, and M. Herman. 1988. Estimation of Saharan Aerosol Optical Depth from Blurring Effects in Thematic Mapper Data. J. Geophys Res., Vol. 93, No. D12, pp 15955-15964.
14. Application of Remote Sensing Technology on Precision Farming–Example of Paddy Acreage Assessment.

Chapter 7 Application of Remote Sensing Technology on Precision Agriculture – A case study of cultivation distribution of rice

Gin-Rong Liu, A. J. Chen, and Tang-Huang Lin
Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li, Taoyuan, Taiwan 320, ROC

ABSTRACT

Integration of remotely sensed data and develop for the various applications, such as agricultural management, environmental change and natural damage monitoring etc., is the main tendency of resource management in the next century. Since many traditional methods of agricultural production estimation not only need much man power but also is time-consuming, especially in the complex terrain area of Taiwan. So, how to apply remote sensing technology for the agriculture management to provide a more economical and convenient method than the traditional methods is very important with dispatch in the precision farming age. Because rice is one of the main crops in Taiwan, research of relative projects, such as acreage estimation, yield prediction and so on, become very important. The purpose of this research is to develop one efficient model of applying satellite data for paddy acreage monitoring in Taiwan area, and one real case study is demonstrated.

Key words: Satellite remote sensing, Precision farming, Paddy acreage.

93 -103, 2000

第八章　遙測科技在精準農業之應用－土壤與作物空間變異之檢測

申　雍
國立中興大學土壤環境科學系

摘要 ---------- 94
壹、前言 ---------- 94
貳、土壤和植被的反射光譜 ---------- 95
參、土壤和作物生產的空間變異與檢測技術 ---------- 96
肆、精準農業中遙感探測的重要發展方向 ---------- 97
伍、結語 ---------- 98
陸、引用文獻 ---------- 98
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 103

第八章　遙測科技在精準農業之應用－土壤與作物空間變異之檢測

申　雍
國立中興大學土壤環境科學系

摘　　要

由於土壤性質、肥料施用、與作物吸收上自然存在之變異，導致田間作物生長具有空間分佈不均的現象。「遙測」可以精確和快速的對大面積的田區進行頻繁的觀測，提供田間作物動態生育情形的空間分佈資料。本文中回顧了葉片、土壤、和植被的光譜特性與影響因子，以及有關檢測土壤性質和作物生長性狀與產量的遙測方法。目前的遙測技術雖可達到提供「精準農業」相關資訊的最低要求，但仍有許多關於土壤和作物的基本遙測資料需要累積，新的偵檢技術需要發展，影像資料的正確性和處理的時效性也需提高，才能適當滿足「精準農業」中對遙測技術的要求。

關鍵詞：精準農業、空間變異、感測器、遙測。

壹、前　　言

「精準農業」(precision agriculture，or site-specific farming)是現代化農業科技的重要發展方向之一，因此受到農業界高度的重視。「精準農業」目前尚屬於發展初期，許多技術細節仍有待進一步之開發，但是其發展的大方向已很清楚，主要要求能精確掌握氣候和土壤之時間與空間的變異，以及其對農作物生育的影響，使能經由肥培、施藥等栽培管理手段，進行高效率的農業經營與管理，並減少由農業所產生之非點源污染(non-point pollution)，進而達到提高生產利潤，保護生態環境的目標，使農業得以永續發展(Blackmore *et al.*, 1995; Castelnuovo, 1995; Pierce and Sadler, 1997)。

「遙感探測」即是利用非直接接觸的方法進行地物性狀的測定，以瞭解地物的特性並進行空間分佈之區劃。目前對於土壤和作物所進行的遙感探測，主要是測定並分析由土表和作物植冠反射或輻射的電磁波波譜，可概分為可見光(visible，400-700 nm)、近紅外光(near-infrared，700-1300 nm)、中紅外光(middle-infrared，1300-2500 nm)、遠紅外光(far-infrared，8-14μm)、微波(microwave，1mm-1m)等幾個主要波段，其中以應用可見光、近紅外光、和遠紅外光等光區的技術目前較為常見，但有關微波的應用技術正蓬勃發展中(Steven and Clark, 1990; Johannsen *et al.*,

1999)。若依進行遙測時所使用之感測器與載台區分，其技術範圍可含括由昂貴複雜的衛星遙測、航測、以至於便宜簡單的人員觀測(Barrett and Curtis, 1992; Lillesand and Kiefer, 1994)。

由於作物的生長受環境影響呈現動態的變化，「遙測技術」在「精準農業」中之角色正如同人類的雙眼一般，但能更為「精確」和「快速」的對大面積的田區進行頻繁的觀測，判斷田間作物生育情形和產量的空間分佈。田間的栽培管理者，則可利用由遙測所得的資訊，以可變率(variable rate)農機進行局地(local)肥培、施藥、灌溉、…等管理措施的操作。以下將先說明土壤和植被反射光譜的特性，再論及田間土壤和作物生產的空間變異與相關的檢測技術，最後將指出精準農業體系中遙感探測部分的重要發展方向。

貳、土壤和植被的反射光譜

土壤和植被對太陽輻射之反射光譜已被廣泛用進行有關土壤特性、作物生育情形、逆境種類與程度等空間分佈之遙測調查中。由於葉片中色素之吸收，葉片在可見光區(400-700nm)的吸收率約達 80%以上，反射率和穿透率僅約 10%左右(Guyot, 1990)。由於葉綠素 a、b 是葉片中主要的色素，其吸收峰主要位於藍光與紅光端，因此葉片在 550nm 附近有較強的反射值。由於葉片色素與細胞壁在近紅外光區(700-1300nm)近乎透明，因此葉片的反射光譜在此波段呈現一個高台(plateau)，其反射率的高低與葉肉細胞的層次、大小、排列方式，以及細胞的內容物有密切的關係。在中紅外光區(1300-2500nm)，葉片的反射光譜主要受葉片中水分含量的影響，在 1450、1950、和 2500nm 處，葉片中的水分會產生很強的吸收，因而導致反射光譜出現兩個高峰。因此葉片的反射光譜將受葉片之解剖結構、生育階段、土壤水分和養分之供應、病蟲害、…等多種因素的影響。例如，受葉片細胞的排列結構的影響，闊葉樹葉片在近紅外波段的反射值高於針葉樹葉片(Kalensky and Wilson, 1975)；雙子葉植物葉片的反射光譜高於單子葉植物(Sinclair *et al.* 1971)。當葉片老化時，由於葉綠素的崩解，可見光區的黃綠波段和紅光段的反射值將增加，近紅外光區的反射值將隨細胞間隙增加而提高，中紅外光區的反射值亦隨葉片中水分減少而提高(Guyot, 1990)。當乾旱時，葉片之反射光譜因細胞膨壓降低而有全域提高的現象(Thomas *et al.*, 1971)。當氮缺乏時，葉片在可見光區的反射值會因葉綠素濃度降低而增加，但是在近紅外光區的反射值將因細胞層數之減少而降低(Thomas and Oerther, 1972; Blackmer *et al.*, 1996)。Fe、S、Mg、Mn 等微量元素缺乏，葉片反射光譜將會產生明顯之紅位移現象(Masoni, 1996) 。病蟲害則可能因導致葉片黃化、產生壞疽、或產生新色素等方式改變葉片的反射光譜(Guyot, 1990)。植被的反射光譜除受葉片反射光譜的影響外，尚與植叢的型態與結構(Kimes, 1984; Verhoef, 1984; Jackson and Pinter, 1986; Goel, 1988)、背景土壤之反射光譜和植被的覆蓋率(Huete, 1987; Maas, 1998)、太陽入射角度和天氣狀態(Huete, 1988)等因素有關。

土壤反射光譜之反射值大致由可見光區逐漸上升至中紅外光區，在中紅外光區也因水分之吸收呈現兩個反射高峰，在任一波長的反射值則依土壤水分含量之增加而降低(Guyot, 1990)。此外，土壤的反射光譜也受土壤礦物組成和有機物含量(Condit, 1970;Coleman and Montgomery, 1987)，但是當土壤中有機物含量高於 2%以上時，土壤在可見光和近紅外光區的反射值會顯著的降低，掩蓋了土壤中礦物的反射光譜特徵(Bowers and Hank, 1965)。土表鹽分含量提高會提高土表反射光譜有全域提高的現象(Satten White and Pooder

Henley, 1987)。耕犁產生的土塊造成土表粗造度的增加，則會導致土表反射光譜全域因內部反射效應而降低(Huete *et al.*, 1985)。由於土壤並非理想的散射面，因此處於不同坡度和坡向相同土壤的反射光譜，會因太陽高度角和方位角的變換而改變(Eaton and Dirmhirn, 1979; Cierniewski, 1987)。

因此，若擬利用遙測進行有關田間作物之生育情形、逆境種類與程度等空間分佈資訊的調查，以進行符合「精準農業」之栽培管理操作，必須對前述論及之各類因子有整合性的瞭解，方能獲得正確之資訊。

參、土壤和作物生產的空間變異與檢測技術

由於「精準農業」必須藉由田間之栽培管理操作予以落實，所以遙測技術必須能精確提供有關田區中土壤性質和作物生育情形的空間分佈資訊。已有相當多的研究指出，田間土壤性質和肥培管理的技術會對作物之生產與產量造成明顯之空間變異，其變異的空間尺度通常需以 m 或 10m 為尺度單位進行評估 (Wollenhaupt et al., 1997: Pan *et al.*, 1997)。例如，Dobermann *et al.* (1995)在 IRRI 研究農場中進行的水稻生育性狀與產量空間分佈調查指出，在面積為 0.2ha 的田中，若完全不施用肥料僅利用土壤的自然肥力，則穀粒產量的變異範圍由 2.41-5.88 t ha^{-1}；若正常施用肥料，則穀粒產量的變異範圍由 4.54-8.82 t ha^{-1}，顯示田間水稻的生長具有明顯的空間變異，而空間分析指出產量的關聯性主要集中於<3m 的短距離內。對土壤中 CEC、OC、EC、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn、B、Mn、Na 等多項化學性質之空間分佈分析指出，田間自然土壤肥力呈現分佈不均的狀況，而各性質的空間關聯性多集中在<10m 的範圍內(Dobermann *et al.*, 1997)。由於土壤中可利用養分和養分吸收速率的不均一，導致田間水稻生長在幼穗形成期前即可產生明顯之空間變異，而肥料施用與吸收的不均將更增加空間的變異(Dobermann *et al.*, 1994)。

由以上論述可知，「精準農業」中的遙測技術應設法提供精確至<10m 尺度的空間分佈資料，再利用 GIS 將遙測調查所得的空間分佈資訊，套疊現有田區的分佈界限，即可藉由可變率農機以落實田間之栽培管理操作。雖然目前 SPOT 或 Landsat 等資源衛星的多光譜影像的空間解析度並無法滿足此需求，但是新一代資源衛星的空間解析度將可達到<5m 的程度(Johannsen et al., 1999)，而目前航測的空間解析度早可達到之<5m 的程度(Barrett and Curtis, 1992; Lillesand and Kiefer, 1994)，因此在未來有關「精準農業」的發展應用中，有關影像資料的空間解析度將不會成為主要的限制因素。但是，如何由影像資料中擷取所需的資訊，以及發展更適當的感測技術將成為「精準農業」能否成功推動的關鍵。以下將論及目前應用遙感檢測技術分析土壤性質和作物生長與產量的發展。

在土壤性質方面，利用在可見光區至近紅外光區反射光譜的特徵值可用於判釋土表的有機物含量與水分含量(Krishnan *et al.*, 1980; Christensen and Hummel, 1985; Kano *et al.*, 1985; Dalal and Henry, 1986; Henderson *et al.*, 1989; Henderson *et al.*, 1992; Sudduth and Hummel, 1993);利用彩色紅外線相片可用於判釋田間土壤入滲速率與微地形起伏的空間分佈(Lillesand and Kiefer, 1994)；由熱紅外線影像可用於判釋田間土壤質地與水分供應能力之空間分佈(Lillesand and Kiefer, 1994)；應用微波亦可判釋土表水分含量 (Ulaby *et al.*, 1974; Bernard *et al.*, 1982; Ulaby *et al.*, 1983)、土表粗造度(Ulaby *et al.*, 1978; Choudhury et *al.*, 1979)、土壤質地(Ulaby *et al.*, 1978)等

重要性質的空間分佈。

在作物生長與產量方面，在可見光區和近紅外光區的反射光譜可被用於作物地表覆蓋率(Huete, 1987; Maas, 1998)、LAI(Pollock and Kanemasu, 1979; Gardner and Blad, 1986; Peterson *et al.*, 1987)、葉綠素含量(Thomas and Gausman, 1977; Ercoli *et al.*, 1993)、植株營養狀況(Al-Abbas *et al.*, 1974; Milton *et al.*, 1989; Milton *et al.*, 1991; Adams *et al.*, 1993; Blackmer *et al.*, 1996)、乾旱逆境(申和李，1998)、作物產量(Kanemasu *et al*, 1990; Thenkabail *et al.*, 1994)之估測；在中紅外光區的反射光譜可被用於葉片水分含量測定(Inoue *et al.*, 1993);由熱紅外線影像可用於區別受到水分逆境傷害的區域(Jackson, 1982; Inoue, 1990);微波則可用於估測 LAI(Ulaby *et al.*, 1984; Prevot *et al.*, 1993)。

Long *et al.* (1995)指出，利用彩色紅外線相片區分之作物生產空間分佈圖的準確度，較利用多種土壤性質組合所得的作物生產空間分佈圖爲高。由於田間作物生育性狀和產量是許多栽培環境與管理技術綜合的表現，因此在「精準農業」的操作實務上，應先利用遙測技術先探求作物生育性狀的空間分佈，再細究導致產生空間分佈變異的原因，然後才利用可變率農機以落實田間之栽培管理操作。

目前資源衛星所能提供的波譜解析度應可以滿足有關作物 LAI、產量等空間分佈調查的需求，若要進一步由影像資料細究造成空間變異的原因則非常困難(Moran *et al.*, 1997)，但是新一代資源衛星的波譜解析度將可達到<10nm 的程度(Johannsen *et al.*, 1999)。在衛星之光譜解吸力尚未提昇前，可採用航測方式提供光譜解析度高的影像，目前國內農航所的航測相機可提供 13 個波段的影像資料，其中 10 個分佈在 0.38-1.1μm 間，另有 UV(0.31-0.38μm)、InSb(4.5-5.5μm)、及 MCT(8-14μm)偵測器各一組，影像之空間解析度和光譜解析度均較 SPOT、LandSat 爲佳；光譜解析度<20nm 的航測相機也已商品化(Lewotsky, 1994; ESSI, 2000; Bianchi *et al.*, 2000)。

肆、精準農業中遙感探測的重要發展方向

爲使「精準農業」科技未來能落實於農業的生產中，有關「遙測技術」的部分應朝以下三個重要方向發展。

(一)作物與土壤特徵光譜資料庫之建立：收集主要農作物在正常生長狀態下，以及當處於水分缺乏、養份缺乏、病蟲害、…等各類逆境下的植被反射光譜資料，以及主要農耕土壤受有機物含量、土壤水分含量、鹽分含量、…等重要因子影響時的反射光譜資料。並需對資料庫中儲存的光譜資料，利用各種分析技巧進行特徵值的研究，不僅需達到可由遙測影像資料判釋田間作物生育狀況和產量的空間分佈，還需能判釋作物在田間遭受的逆境種類與程度(Steven *et al.*, 1990; Moran *et al.*, 1997; Johannsen *et al.*, 1999)。

(二)偵檢技術之發展：由第(一)部分研究中所得出的最佳判釋方法，所需遙測資料極有可能是目前常用之遙測載台與感測器所無法提供者，因此需依據第(一)部分研發的成果，設法取得和發展更適合精準農業使用的感測器與載台。此外，應用微波(Holmes, 1990; Luzi *et al.*, 1990; Paris, 1990; Moran *et al.*, 1999)、雷射(Lichtenthaler, 1990)、電磁感應(Jaynes *et al.*, 1995; Sudduth *et al.*, 1997;)、…等新技術偵檢作物逆境與土壤性質的研究也應加強，以克服現有偵檢技術之限制。

(三)影像資料正確性與傳遞時效之提昇：利用衛星或飛機可快速進行大範圍作物生長情形空間分佈之調查，是「精準農業」中各種探測地面作物生長狀況之感應器的主要載台，因此必須探討對衛星與航

照影像進行幾何糾正與大氣輻射校正的處理技術，提供正確的地面影像資料，以依據由前述二部分研究發展出的判釋方法進行影像資料的判讀和分類。此外，由於影響田間作物生產的關鍵期爲時甚短，因此如何提高從影像拍攝、處理、判讀、以至分送等過程時效性的研究亦是非常重要的(Frazier *et al.*, 1997)。

伍、結　　語

「遙測」在「精準農業」中之角色正如同人類的雙眼一般，但能更爲「精確」和「快速」的對大面積的田區進行頻繁的觀測，提供田間作物動態生育情形的空間分佈資料。目前的遙測技術雖可達到「精準農業」中最低的要求，但仍有許多的基本資料需要累積，新的偵檢技術需要發展，影像資料的正確性和處理的時效性也需提高。

「遙測」雖然是「精準農業」中的雙眼，但是縝密詳實的遙測資訊並不能單獨達成「精準農業」的目標，如何利用遙測所獲得的資訊，將正確的肥料與農藥，適時適量的施用到正確的地點，以達到應用「精準農業」提高生產利潤，保護生態環境，使農業得以永續發展的目標，則還需依靠作物、土壤、病蟲害、農機等多方面專家的共同合作與努力。

陸、引用文獻

1. 申雍、李佩玲。1998。應用 SPOT 衛星影像區分水稻旱害等級與受災範圍支出步研究。中華農業氣象 5:203-208.
2. Adams, M.L., W.A. Norvell, J. H. Peverly and W.D. Philpot. 1993. Fluorescence and reflectance characteristics of manganese deficient soybean leaves: Effect of leaf age and choice of leaflet. Plant and Soil 155/156: 235-238.
3. Al-Abbas, A.H., R. Barr, J.D. Hall, F.L. Crane and M.F. Baumgardner. 1974. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. Agron. J. 66: 16-20.
4. Barrett, E.C. and L.F. Curtis. 1992. "Introduction to Environmental Remote Sensing". 3rd ed. Chapman & Hall.
5. Bernard, R., P. Martin, J.L. Thony, M. Vauclin and D. Vidal-Madjar. 1982. A C-band radar calibration for determining soil moisture. Remote Sens. Environ. 12: 189-200.
6. Bianchi, R., R.M. Cavalli, C.M. Marino and S. Pignatti. 2000. MIVIS airborne hyperspectral remote sensing in Europe. http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/ISSSR-95/mivisair.html
7. Blackmore, B.S., P.N. Wheeler, J. Moris, R.M. Moris and R.J.A. Jones. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. In: "Site-Specific Management for Agricultural Systems". Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). p.777-793. ASA, CSSA, SSSA.
8. Blackmer, T.M., J.S. Schepers, G.E. Varvel and E.A. Walter-Shea. 1996. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. Agron. J. 88: 1-5.
9. Bowers, S.S. and R.J. Hanks. 1965. Reflection of radiant energy from soil. Soil Sci. 100:130-138.
10. Castelnuovo, R. 1995. Environmental concerns driving site-specific management in agriculture. In: "Site-Specific Management for Agricultural Systems". Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). p.867-880. ASA, CSSA, SSSA.
11. Christensen, D.A. and J. W. Hummel.

1985. A real-time soil moisture content sensor. ASAE Paper 85-1589.. ASAE.

12. Choudhury, B.J., T.J. Schmugge, R.W. Newton and A. Chang. 1979. Effect of surface roughness on the microwave emission from soils. J. Geophy. Res. 84: 5699-5706.
13. Cierniewski, J. 1987. A model for soil surface roughness influence on the spectral response of bare soils in the visible and near-infrared range. Remote Sens. Environ. 23: 97-115.
14. Coleman, T.L. and O.L. Montgomery. 1987. Soil moisture, organic mater and iron content effect on the spectral characteristics of selected vertisols and alfisols in Alabama. Photo. Eng. and Remote Sens. 53: 1659-1662.
15. Condit, H.R. 1970. The spectral reflectance of American soils. Photo. Eng. 36: 955-966.
16. Dalal, R.C. and R.J. Henry. 1986. Simultaneous determination of moisture, organic carbon, and total nitrogen by near infrared reflectance spectrophotometry. Soil Sci. Soc. Am. J. 50: 120-123.
17. Eaton, F.D. and I. Dirmhirn. 1979. Reflected irradiance indicatrices of natural surfaces and their effect on albedo. Appl. Opt. 18: 994-1008.
18. Ercoli, L., M. Mariotti, A. Masoni and F. Massantini. 1993. Relationship between nitrogen and chlorophyll content and spectral properties in corn leaves. Eur. J. Agron. 2: 113-117.
19. ESSI. 2000. The eye on earth's resources. http://www.earthsearch.com/probe1.html.
20. Frazier, B.E., C.S. Walters and E.M. Perry. 1997. Role of remote sensing in site-specific management. In: "The State of Site Specific Management for Agriculture". Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). p. 149-160. ASA, CSSA, SSSA.
21. Gardner, B.R. and B.L. Blad. 1986. Evaluation of spectral reflectance models to estimate corn leaf area while minimizing the influence of soil background effect. Remote Sens. Environ. 20: 183-193.
22. Goel, N.S. 1988. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. Remote Sens. Rev. 4: 1-222.
23. Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p. 19-43. Butterworths.
24. Henderson, T.L., A. Szilagyi, M.F. Baumgardner, C.C.T. Chen and D.L. Landgrebe. 1989. Spectral band selection for classification of soil organic matter content. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1778-1784.
25. Henderson, T.L., M.F. Baumgardner, D.P. Franzmeier, D.E. Stott and D.C. Coster. 1992. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 865-872.
26. Holmes, M.G. 1990. Application of radar in agriculture. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p.307-330. Butterworths.
27. Huete, A.R., B.D. Jackson and D.F. Post. 1985. Spectral response of plant canopies with different soil background. Remote Sens. Environ. 17: 37-53.
28. Huete, A.R. 1987. Soil dependent

spectral response in a developing plant canopy. Agron. J. 79: 61-68.

29. Huete, A.R. 1988. Soil and atmosphere influence on the spectra of partial canopies. Remote Sens. Environ. 25: 89-106.
30. Inoue, Y. 1990. Remote detection of physiological depression in crop plants with infrared thermal imagery. Jpn. J. Crop Sci. 59: 762-768.
31. Inoue, Y., S. Morinaga and M. Shibayama. 1993. Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. Jap. J. Crop Sci. 62: 462-469.
32. Jackson, R.D. and P.J. Pinter, Jr. 1986. Spectral response of architecturally different wheat canopies. Remote Sens. Environ. 20: 43-56.
33. Jackson, R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. Adv. Irrig. 1: 43-85.
34. Jaynes, D.B., T.S. Colvin and J. Ambuel. 1995. Yield mapping by electromagnetic induction. In: "Site-Specific Management for Agricultural Systems". Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). p. 383-394. ASA, CSSA, SSSA.
35. Johannsen, C.J., P.G. Carter, P.R. Willis, E. Owubah, B. Erickson, K. Ross and N. Targulian. 1999. Applying remote sensing technology to precision farming. In: "Precision Agriculture". Proc. 4th Int. Conf. p. 1413-1422. ASA, CSSA, SSSA.
36. Kalensky, Z. and D.A. Wilson. 1975. Spectral signature of forest trees. Proc. 3rd. Can. Symp. Remote Sens. p.155-171.
37. Kanemasu, E.T., T.H. Demetriades-Shah, H. Su and A.R.G. Lang. 1990. Estimating grassland biomass using remotely sensed data. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p. 185-199. Butterworths.
38. Kano, Y., W.E. McClure and R.W. Skaggs. 1985. A near infrared reflectance soil moisture meter. Trans. ASAE 28: 1852-1855.
39. Kimes, D.S. 1984. Modeling the directional reflectance from complete homogeneous vegetation canopies with various leaf-orientation distributions. J. Opt. Soc. Am. 1: 575-588.
40. Krishnan, P., J.D. Alexander, B.J. Butler and J.W. Hummel. 1980. Reflectance technique for predicting soil organic matter. Soil Sc. Soc. Am. J. 44: 1282-1285.
41. Lewotsky, K. 1994. Hyperspectral imaging: Evolution of imaging spectrometry. http://www.geo.unizh.ch/~schaep/research/aviris/is.html
42. Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. "Remote Sensing and Image Interpretation". 3rd ed. John Wiley & Sons.
43. Lichtenthaler, H.K. 1990. Applications of chlorophyll fluorescence in stress physiology and remote sensing. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p. 287-305. Butterworths.
44. Long, D.S., G.R. Carlson and S.D. DeGloria. 1995. Quality of field management maps. In: "Site-Specific Management for Agricultural Systems". Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). p.251-271. ASA, CSSA, SSSA.
45. Luzi, G., S. Paloscia and P. Pampaloni. 1990. Microwave radiometry for monitoring agricultural crops. In: "Applications of Remote Sensing in

Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p. 331-353. Butterworths.
46. Maas, S.J. 1998. Estimating cotton canopy ground cover from remotely sensed scene reflectance. Agron. J. 90: 384-388.
47. Masoni, A., L. Ercoli and M. Mariotti. 1996. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium, and manganese. Agron. J. 88: 937-943.
48. Milton, N.M., C.M. Ager, B.A. Eiswerth and M.S. Power. 1989. Arsenic- and selenium-induced changes in spectral reflectance and morphology of soybean plants. Remote Sens. Environ. 30: 263-269.
49. Milton, N.M., B.A. Eiswerth and C.M. Ager. 1991. Effect of phosphorus deficiency on spectral reflectance and morphology of soybean plants. Remote Sens. Environ. 36: 121-127.
50. Moran, M.S., Y. Inoue and E.M. Barnes. 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. Remote Sens. Environ. 61: 319-345.
51. Moran, M.S., D.C. Hymer, J. Qi and Y. Kerr. 1999. Radar imagery for precision crop and soil management. In: "Precision Agriculture". Proc. 4th Int. Conf. p. 1423-1434. ASA, CSSA, SSSA.
52. Pan, W.L., D.R. Huggins, G.L. Malzer, C.L. Douglas, Jr. and J.L. Smith. 1997. Field heterogeneity in soil-plant nitrogen relations: Implications for site-specific management. In: "The State of Site Specific Management for Agriculture". Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). p. 81-99. ASA, CSSA, SSSA.
53. Paris, J.F. 1990. On the uses of combined optical and active-microwave image data for agricultural applications. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p. 355-374. Butterworths.
54. Peterson, D.L., M.A. Spanner, S.W. Running and K.B. Teuber. 1987. Relationships of thematic mapper simulation data to leaf area index of temperate coniferous forests. Remote Sens. Environ. 22: 323-341.
55. Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). 1997. "The State of Site Specific Management for Agriculture". ASA, CSSA, SSSA.
56. Pollock, R.B. and E.T. Kanemasu. 1979. Estimating leaf area index of wheat with Landsat data. Remote Sens. Environ. 8: 307-312.
57. Prevot, L., I. Champion and G. Guyot. 1993. Estimating surface soil moisture and leaf area index of a wheat canopy using dual-frequency (C and X bands) scatterometer. Remote Sens. Environ. 46: 331-339.
58. Satten White, M.B. and J. Ponder Henley. 1987. Spectral characteristics of selected soils and vegetations in Northern Nevada and their discrimination using band ratio techniques. Int. J. Remote Sens. 23: 155-175.
59. Sinclair, T.R., R.M. Hoffer and M.M. Schreiber. 1971. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season. Agron. J. 63: 864-868.
60. Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) 1990. "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Butterworths.
61. Steven, M.D., T.J. Malthus, T.H. Demetriades-Shah, F.M. Danson and

J.A. Clark. 1990. High-spectral resolution indices for crop stress. In: "Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J.A. Clark. (eds.) p. 209-227. Butterworths.

62. Sudduth, K. A. and J. W. Hummel. 1993. Soil organic matter, CEC, and moisture sensing with a portable NIR spectrophotometer. Trans. ASAE 36: 1571-1582.
63. Sudduth, K.A., J.W. Hummel and S.J. Birrell. 1997. Sensors for site-specific management. In: "The State of Site Specific Management for Agriculture". Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). p. 183-210. ASA, CSSA, SSSA.
64. Thenkabail, P.S., A.D. Ward and J.G. Lyon. 1994. Impacts of agricultural management practices on soybean and corn crops evident in ground-truth data and thematic mapper vegetation indices. Trans. ASAE 37: 989-995.
65. Thomas, J.R., L.N. Namken, G.F. Oerther and R.G. Brown. 1971. Estimating leaf water content by reflectance measurements. Agron. J. 63: 845-847.
66. Thomas, J.R. and G.F. Oerther. 1972. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. Agron. J. 64: 11-13.
67. Thomas, J.R. and H.W. Gausman. 1977. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops. Agron. J. 69: 799-802.
68. Ulaby, F.T., J. Cihlar and R.K. Moore. 1974. Active microwave measurements of soil water content. Remote Sens. Environ. 3: 185-203.
69. Ulaby, F.T., M.C. Dobson and D.C. Brunfeldt. 1983. Improvement on soil moisture estimation accuracy of vegetation-covered soil by combined active/passive remote sensing. IEEE Trans. GeoSci. Remote Sens. GE-21: 300-307.
70. Ulaby, F.T., P.P. Batlivala and M.C Dobson. 1978. Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture: Part I – Bare soil. IEEE Trans. GeoSci. Electronics GE-16: 286-295.
71. Ulaby, F.T., C.T. Allen, G. EgerIII and E.T. Kanemasu. 1984. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. Remote. Sens. Environ. 14: 113-133.
72. Verholf, W. 1984. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: the SAIL model. Remote Sens. Environ. 16: 125-141.
73. Wollenhaupt, N.C., D.J. Mulla and C.A. Gotway Crawford. 1997. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: "The State of Site Specific Management for Agriculture". Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). p. 19-53. ASA, CSSA, SSSA.

Chapter 8 Application of Remote Sensing in Precision Agriculture: Detection of Spatial Variability of Soils and Crops

Yuan Shen

Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, ROC

ABSTRACT

The spatial heterogeneity of soil properties and variations due to fertilizer application and nutrient uptake by roots result in spatial variation of crop growth and productivity in field. Remote sensing can provide accurate, prompt, and frequent survey for large area. Accordingly, maps regarding spatial distribution of dynamic crop growth in the field can thus be provided. In this review, spectrum characteristics of leaf, soil and canopy and factors affect those characteristic are introduced. Techniques to detect spatial variation of soil properties and crop growth and productivity are also discussed. It is concluded that the present remote sensing techniques can barely satisfy the requirement of precision agriculture. In order to satisfy the requirement, basic spectrum information regarding soils and crops need to be accumulated, new detection techniques need to be developed, and the accuracy and processing time of acquired images also need to be improved.

Keywords: Precision agriculture, Spatial variability, Sensors, Remote sensing.

水稻精準農業(耕)體系之研究
第九章　精準農業體係之農機研發趨勢
105 -110, 2000

第九章　精準農業體系之農機研發趨勢

盧福明
國立台灣大學農業機械工程學系

摘要 -- 106
壹、前言 --- 106
貳、精準農業體系之農機環節 --- 107
參、農機發展趨勢--- 108
肆、結語 --- 109
英文摘要(ABSTRACT) -- 110

第九章　精準農業體系之農機研發趨勢

盧福明
國立台灣大學農業機械工程學系

摘　　要

精準農業包括全球衛星定位系統、田區產量監測和產量分佈製圖、土壤測試、遙測、地理資訊系統和製圖、變率技術和其他課題，精準農業所需科技涵蓋作物種植到收穫所需各種田間作業。未來精準農業體系尚待開發之配備有衛星定位系統之農機具，包括土壤偵測機、犁具、施肥機、噴藥機、作物偵測機和收穫機。

關鍵詞：精準農業、農機、GPS。

壹、前　　言

精準農業 (Precision Agriculture)乃是針對農田及植栽的變異性給予最適當的耕作決策與處理，以減少資財之耗費，增加收益並減輕對環境的衝擊。類似名稱例如Site Specific Crop Management (SSCM)和Precision Farming (PF)。以往大規模田區作物（水稻或其他作物）的調查方式大都仰賴人力地面調查，再來應用航機遙測方式，最近更藉助衛星科技進行即時性的影像判讀及定位工作。近年來，世界上農業發達的先進國家，諸如美國、澳洲與歐洲等國已逐步應用衛星資訊於農業作物生產系統之農藝調查、機耕及收穫、土壤及灌溉、病蟲害防治等作業方面，用以提供即時性或規劃性之生產管理資料，做爲農場經營管理決策之依據。概而言之，應用衛星資訊於農業作物生產系統之農業即屬於精準農業的範疇。

傳統農耕方式將整個田區之作物、土壤等特性視爲均一，故無論是灌溉水量、肥料或是農藥之施用量，均是針對整個田區一體適用。然而在精準農業體系下，必須針對田區間各種作物、土壤、環境因子空間變異之特性，利用先進的電腦、通信與自動化科技，配合適當時間、空間尺度之田間調查作業及地理資訊系統、空間變異分析模式，精確地且全面性地掌握田區作物、土壤與環境特性，進而經由作物模式、決策分析模式，決定最佳之耕作策略(Cropping Strategy)及產量預測，並利用地理資訊系統建立各種空間分布圖層，最後利用衛星定位與農業自動化科技執行既定之耕作策略。

在精準農業體系下之農機作業模式，例如針對發生病蟲害或有雜草的局部田區與其他正常的田區的差異性分別給予不同的噴藥處理（施重藥，施微藥或不施藥），因此可較全部田區均勻施藥的方式減少全部施藥量，因之可降低施藥所造成的環境衝擊。此一施藥方式稱之帶狀施藥(patch spraying)，即屬於精準農業體系之

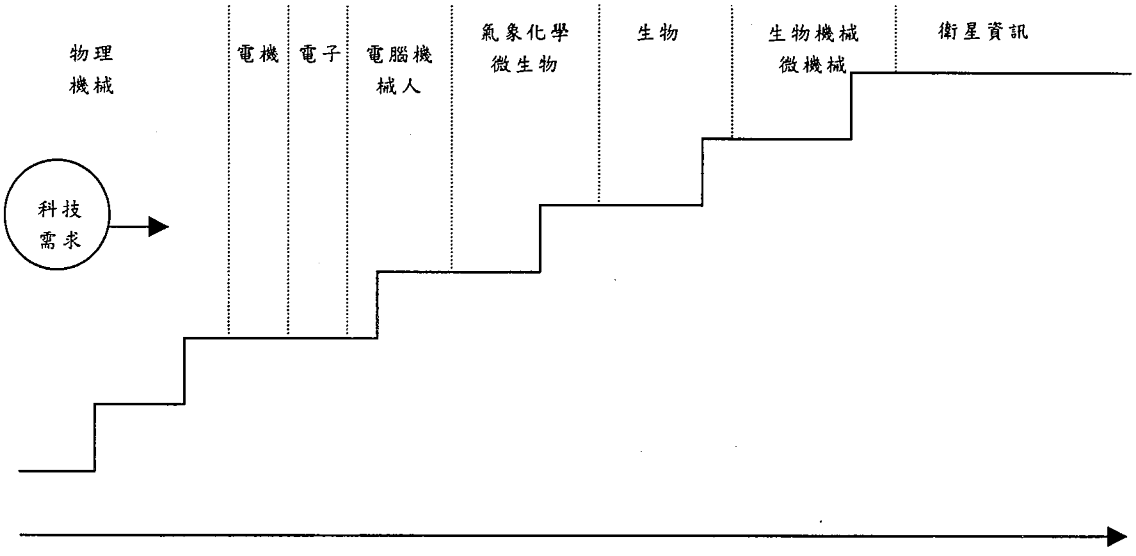
一環。另例為田間收穫時，透過裝載於收穫機上的各類感應器和衛星定位地理資訊之自動記錄分析，即可藉由各別小田區的作物產量及其分佈狀況來探討大面積栽培環境與耕作處理間的相關性，以做為農場經營決策的參考。

貳、精準農業體系之農機環節

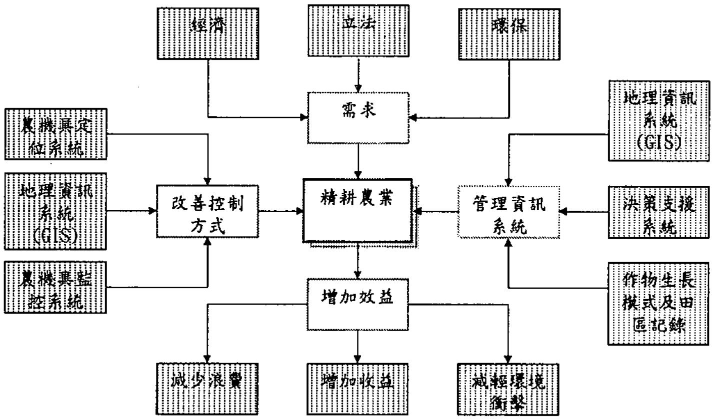
農業機械之發展與科技的進步具有密切關聯。必須有各方面科技的配合才可逐步研發新型農機具。農機由應用原動機動力到今日應用衛星資訊之發展歷程所需借助的科技如圖一所示。影響精準農業成效的因素甚多，且環環相扣，如圖二所示。

精準農業體系之農機具必須在下列三項前提或條件成熟時才能看到農機在精準農業體系的重要性及其成效，亦即必須有農民及社會的需求、管理資訊系統和農機控制系統等三項的密切配合條件下才能使精準農業體系所開發出的農機具全面普及化，發揮增加效益的成果。此三項因素之第一項屬於政策面，後兩項屬於技術面。在政策需求方面必須在經濟面，環保面，和立法面凝聚共識肯定精準農業的必須性與重要性，進而要求農企業全面朝精準農業發展。

在技術面，管理資訊系統包含地理資訊系統(Geographical Information System , GIS)、決策支援系統和作物生長模式及田區資料。GIS 包括衛星拍攝田區影像，航測地圖及低空或地面測量地圖等遙測資訊。決策支援系統屬於農企業經營管理層級。作物生長模式及田區資料可用於判別作物生長狀態及田區環境，以作為精準農業的經營管理時程控制之用。



圖一、農業機械研發領域之變遷



圖二、發展精準農業之環節

精準農業的發展仍處於嬰兒期，由於衛星定位較衛星影像來得精準，因之近年來世界先進國家的精準農業的研究發展方向大多以結合全球定位系統(GPS)的技術爲主要課題，再輔於遙測衛星影像的判讀，找出影響農企業田間生產的相關因子。遙測工作的另一主軸爲探討光譜與農作狀態及農田狀態間之關係，此方面已有許多國外研究成果，但爲了配合本土農業狀況應積極建立資料庫探討光譜與農作物狀態間之關連性。

另一技術面之農機控制系統，必須結合農用車輛定位系統、地理資訊系統(GIS)和農機具監控系統。農用車輛定位系統乃利用全球定位系統找出地面農用車輛的經緯座標，再配合地理資訊系統找出其位於田間區塊的確定位置。農機具監控系統功能爲即時同步偵測農耕作業的狀態，諸如作物產量、含水率、土壤狀態與病蟲害。在農機控制系統層面，藉由衛星定位方式，除了可達到彙集各田區的田間植栽變異性給予適當的處理（例如噴藥）之外，亦可即時記錄各田區的作物生長狀況（例如產量圖、收穫物含水率），透過電腦處理繪製田區作物產量分佈圖(yield mapping)或土壤狀況圖等資料，供經營者判斷耕作效率及規劃後續管理決策之用。一般而言，歷年來田區狀況或產量甚爲均勻者較不合適推行精準農業，反之則需借助推展精準農業才可提高農場經營效率。

參、農機發展趨勢

精準農業體系下之農耕作業涵蓋播種前到收穫之全部機械作業，目前已有或尙待開發的機具包括配備有差分衛星定位系統之土壤偵測機、犁具、播種機、施肥機、噴藥機、作物性狀偵測機具和收穫機等。

土壤偵測機可透過定位系統繪圖分析各取樣點土壤種類、養分及結構分佈圖。

犁具方面可藉助定位系統和土壤感測器於某些特定區塊自動調整犁耕深度或改變土壤壓實度，調節土壤溫度和水分以便提供作物最佳生長環境。

播種機可藉由已知土壤特性來變率調整播種量以便分別在高低肥力區自動調整高低種植密度。另外亦可藉由土壤水分感測器所獲取資訊將種子播於最佳深度以提高發芽率。

施肥機可藉由土壤偵測機所描繪之區塊土壤肥力狀況進行變率施肥。

噴藥機可藉事先由GIS與GPS之整合所判斷出之作物病蟲害類別與程度進行定點變率噴藥作業。由於噴藥作業屬於高危險工作，噴藥機加裝車輛導引機構，並配

合作業田區之地理資訊系統，利用衛星定位系統，即可規劃無人噴藥機行駛一定之路線到達擬施噴之田區。噴藥機加裝噴藥量感知器與電磁操作比例式流量調整閥，並配合作物病蟲害之地理資訊系統和衛星定位系統，即可依照作物病蟲害發生情況之輕重，來進行該田區重噴藥、微噴藥或不噴藥作業。

作物性狀偵測機具藉助耕作者、曳引機、卡車、收穫機行走於田區時進行田間或作物生長性狀之自動偵測工作，以便配合衛星圖片和航照圖來判定發生雜草、病蟲害、生長不良和排水不良之區塊。

收穫機藉由流量感應器和水分感應器來偵測收穫時各個小區塊作物產量和水分；配合 GPS 資料即可繪製大面積田區產量或水分分佈圖；若再參考土壤狀況或其他作物生長期間之性狀即可判斷影響產量之因素。尚待開發的各類結合 GPS 之作物收穫機包括穀物、牧草和蔬果等作物。西洋式穀物聯合收穫機已有商品化產品，但其精準度仍有待改善提昇。東洋式聯合收穫機（水稻）結合 GPS、收穫量和水分偵測機構則仍在開發中，尚未商品化。

精準農業體系下之農機具必須結合 GPS 和感測元件，透過信號傳遞整合資訊，因之在研發過程宜建立或採用標準信號規格，以利推廣。

肆、結　語

國內農業自動化政策推行十年成效甚佳，除了提升自動化層次，亦提升農企業的經營形象，定位於高科技的農業，而非傳統舊式農業的經營型態。農業自動化推廣所及的領域大多屬於室內型農業諸如在溫室和禽舍內的各式生產方式的自動化，至於田間非室內的犁耕、噴藥、灌溉和收穫等的自動化作業則尚待努力。近年來，由於取得衛星或遙測資訊之方便性增加，配合定位系統即可精準判定某一小田區的狀態包括土壤、肥力、植栽變化等，以做為農場最佳化經營管理決策之依據，具有節省生產資才及減少環境衝擊(污染)的優點。

結合衛星資訊於農耕之研究日新月異，國內在此方面仍落後歐美 3-6 年。為因應未來農耕作業的發展，亟需開始此方面的研究工作以便及時提供成果技術給農民或農政機關參考，進而開發出精準農業作業相關的新型農業機械，以拓展內外銷市場。

Chapter 9 Trend of Development in Agricultural Machinery for Precision Agriculture

Fu-Ming Lu
Department of Agricultural Engineering
National Taiwan University , Taipei, Taiwan 106, ROC

ABSTRACT

Precision agriculture includes global positioning systems, yield monitoring and mapping, soil testing, remote sensing, geographic information systems and mapping, variable-rate technology, and other issues. The techniques adopted in precision agriculture can be used in all aspects of the crop production cycle from pre-planting operations to harvest. The possible field machinery for future applications in precision agriculture will be in the areas of soil testing, tillage, fertilizing, spraying, crop scouting, and harvesting.

Key words: Precision agriculture, Agricultural machinery, GPS.

第十章　遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗

吳啟南　蕭國鑫　陳大科　廖子毅　劉治中
工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

摘要 ---------- 112
壹、前言 ---------- 112
貳、水稻田的辨識 ---------- 113
參、空載多譜掃描儀影像分折：蔗田分類與作物光譜特性 ---------- 116
肆、台糖農場的 GIS 資料分析 ---------- 118
伍、引用文獻 ---------- 125
英文摘要(ABSTRACT) ---------- 126

第十章 遙測與資訊技術應用於精準農業的先趨試驗

吳啟南 蕭國鑫 陳大科 廖子毅 劉治中
工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

摘 要

精準農業相關技術的研發與應用在國內正值起步的階段，其中遙測技術與資訊技術爲精準農業農耕管理、運作體系的重要一環。本文分別以遙測 SPOT 及 AMSS 資料在水稻田辨識、AMSS 資料對蔗田生長差異偵測及農作物光譜特性分析，與台糖農場地理資訊的整合比較分析產量的影響因子，先期試驗、探討遙測與資訊技術在精準農業的潛在應用。

關鍵詞：遙測技術、資訊技術、精準農業。

壹、前　　言

精準農業爲一結合多項技術應用的農業經營管理系統，其所涵蓋技術包括資訊技術（Information technology）、遙測（Remote Sensing）、全球定位系統（GPS）及變異率技術（VRT）...等，用來鑑定、分析與管理農田或土壤的空間與時間變異性，決定因地制宜的農田最佳耕種實務，期能提高農作收益，同時兼顧環境保護，確保永續的農業。精準農業在美國的發展已有十餘年歷史，但仍然處於萌芽期；在台灣則仍僅處啓蒙階段，但農委會已經整合各方面專才，即將從事相關技術研發。

有關精準農業的相關技術中，地理資訊系統（GIS）及遙測技術在國內的發展與應用已有相當基礎，目前需要思考的是如何將已有的技術延伸應用到精準農業上。

遙測在精準農業方面之應用，Robert（1997）認爲可分爲土壤監測、作物生長狀態監測與管理、農機操作效益評估及空間分析等四大類。Moran 等（1997）亦認爲相當多的証據顯示遙測多光譜影像可用於土壤和作物季節性變化的監測，項目包括土壤濕度、作物不同生長期（Crop phenology）、作物成長狀態、作物蒸發散率（Evaportranspiration rate）、作物養分缺乏、作物病害、作物蟲害及野草蔓延等八項，其原理基本上都是由多光譜遙測影像的光譜變化來分析農作物的空間變異性。未來在航、遙測資料的空間解像力、光譜解析力（更多、更窄的波段）及時間解析力（攝像間隔愈來愈近）都會愈來愈佳情況下，農業遙測的實用性將大增。而 1～5 米的空間解像力、1～2 天內獲得遙測資料及生長期每隔一週獲得一次資料，爲遙測在實施精準農業的基本需求（吳，1999）。

此外利用地理資訊系統，來針對農田

的基本地理資料庫進行資料的輸入、保存、顯示、比較、計算、分析與製圖，以找出農田的變異性，從而分析出影響產量變異的原因，則是資訊技術在精準農業上最重要的角色。Usery 等（1995）甚至認為，精準農業整個運作體系的核心就是地理資訊系統（GIS）。

本文分別以水稻田的遙測辨識、AMSS 資料的蔗田生長差異偵測及農作物光譜特性分析，與台糖農場地理資訊的整合比較等三個先期試驗結果，初步探討遙測及地理資訊在精準農業上的應用。

貳、水稻田的辨識

水稻田的辨識有助於水稻種植面積的估算，進而推估產量，作為糧政的重要決策依據。目前農糧處是以航空照片進行水稻田的辨識，若遙測技術應用於水稻辨識的精確度可提高，則可節省大量人力、時間。本試驗研究以 SPOT 衛星及 DS-1260 MSS 空載多譜掃描資料，採用區塊式分類法來作試驗。

2.1 區塊式分類方法

傳統逐像元（pixel by pixel）影像分類沒有考慮實際地物分佈的空間特性，只就像元光譜反射特性判釋地表相對位置的地物類別。此種分類方式欲得到高的分類精度有其困難性；因為臺灣地區的農地坵塊面積平均以 0.3～0.5 公頃佔大多數，如此小的區域經由逐像元分類後，若影像的解像力不夠，同一坵塊地物會因光譜資訊的異質性（heterogeneity）被歸為不同類別。區塊分類法以坵塊內的地物為唯一判釋單元，同一坵塊地物分類結果相同，判釋結果亦較符合實際覆蓋狀況，對作物面積的估算較為精確，但不適用於同一塊田內作物生長差異的監測。

區塊分類法以每個區域的光譜性質為分類基礎，直接進行區域單元分類。方法是先定出各個訓練樣區的統計資訊，將各個區塊的統計資料與訓練樣區的統計資訊比對後，再決定每個區塊的類別(分類資訊如表 2-1)。

表 2-1、區塊單元記錄的 NDVI 統計資訊

ID	屬性	像元數	平均值	標準差	極小值	極大值	歸屬類別	誤差矩陣
1	3	12210	0.106	0.162	-0.23	0.15	3	33
2	2	8	0.118	0.057	0.11	0.13	1	12
3	1	14	0.131	0.037	0.12	0.14	1	11
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

屬性 1:水稻田；屬性 2:其他農作；屬性 3:非農業用地

2.2 辨識方法

不同植被的光譜反射特性會有差異，而同一種作物在不同生長期的光譜反射也會不同，NDVI 指數(公式如 2-1)亦會有所差異。研究中利用水稻的生長天數對照 SPOT 影像計算的 NDVI 指數所模擬的曲線分佈，找出獲取影像時的 NDVI 指數值或兩個不同生長期的 NDVI 差值指數來判別水稻分佈。

$$\mathrm{NDVI}=\left(\frac{(\text{近紅外光段 }(\textit{band }3)-\text{紅光段 }(\textit{band }2))}{(\text{近紅外光段 }(\textit{band }3)+\text{紅光段 }(\textit{band }2))}\right) \qquad (2\text{-}1)$$

另空載多譜掃描（AMSS）資料的NDVI指數計算為對照SPOT影像三個波段的波長後，以空載資料的第6波段(波長0.60~0.65微米)與第7波段(波長0.65~0.69微米)的平均值代表(2-1)式之紅光段，第9波段(波長 0.80~0.89 微米)代表(2-1)式之近紅外光段，並以單一時期的NDVI指數判別水稻田。

2.3 判釋分類結果

試驗以9420-I-017萬興圖幅，分別以SPOT及空載MSS資料分析。

(a)1997年二期稻判釋結果

1997年二期稻之9420-I-017圖幅判釋統計結果如表 2-2；全體分類精度為89.18%，$\hat{k}$ 滿意度分析0.73；其分類成果圖如圖 2-1 所示，採用 SPOT 資料攝像日期為 7/27 及 10/3。

(b)1999年一期稻SPOT判釋結果

1999年一期稻9420-I-017圖幅判釋統計之全體分類精度為82.56%，$\hat{k}$ 滿意度分析 0.70；分類成果圖如圖 2-2 所示，其中左邊黑色區無航照判釋資料可供比對。採用資料攝像日期為4/2及5/29。

(c)1999年一期稻AMSS判釋結果

1999年一期稻9420-I-017圖幅空載多譜掃描資料判釋統計之全體分類精度為54.13%，$\hat{k}$ 滿意度分析 0.08；其假色影像如圖2-3，分類成果圖如圖2-4所示，其中左邊黑色區無航照判釋資料可供比對。掃描日期為3/31。

表 2-2、9420-I-017 圖幅分類判釋統計結果

圖幅	原始資料	稻作期別	分類影像	全體分類精度	$\hat{k}$ 滿意度
9420-I-017	SPOT	86年二期稻	NDVI差值影像	89.18	0.7263
9420-I-017	SPOT	88年一期稻	NDVI差值影像	82.56	0.7015
9420-I-017	Air-borne MSS	88年一期稻	NDVI影像	54.13	0.0817

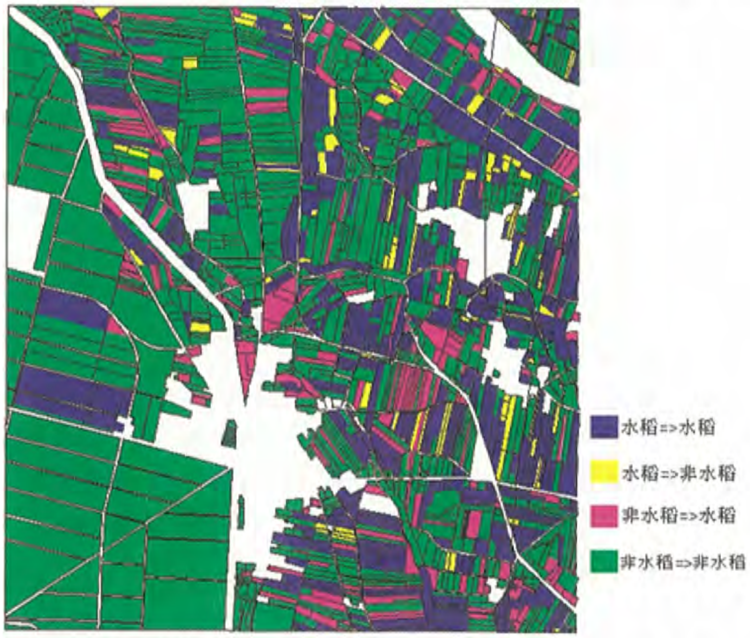


圖 2-1、1997年二期稻 9420-I-017 圖幅 SPOT 判釋分類成果圖。

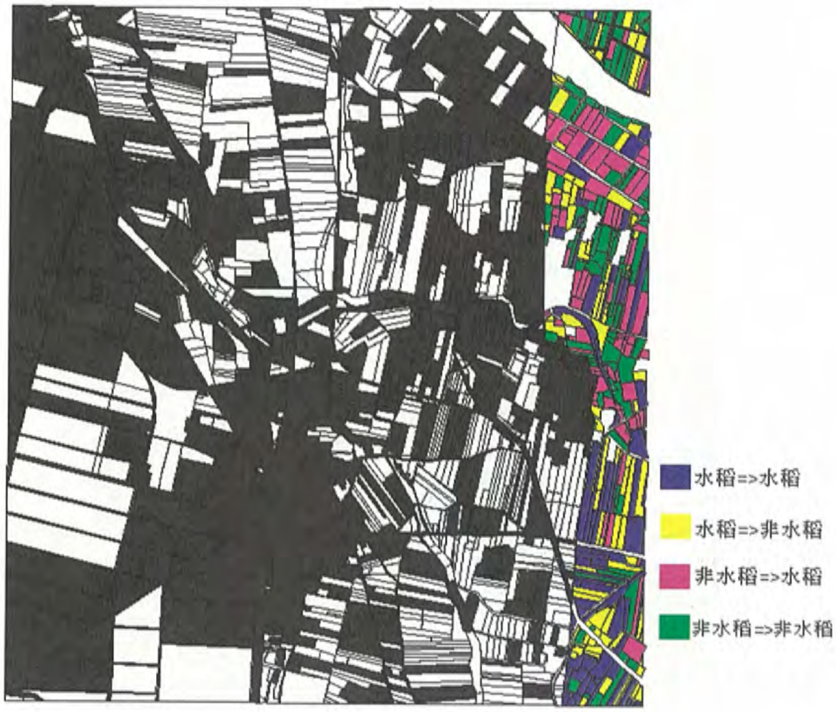


圖 2-2、1999 年一期稻 9420-I-017 圖 SPOT 判釋分類成果圖。

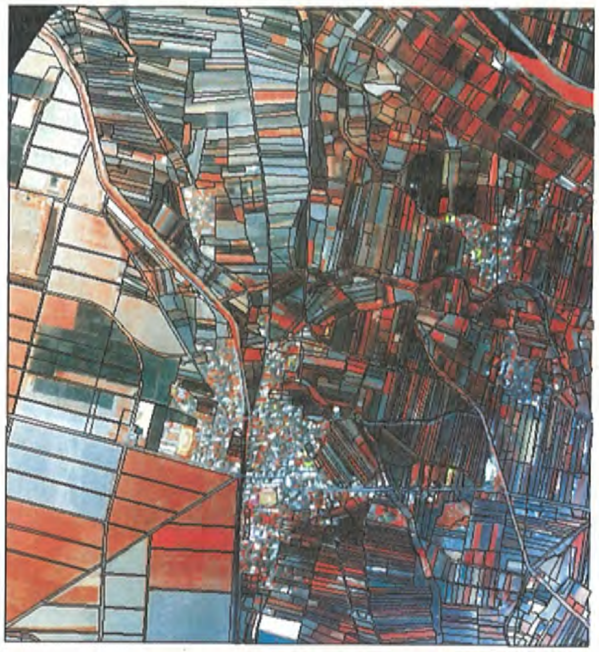


圖 2-3、1999/03/31 空載多譜掃描 4/6/9 波段假色組合影像。

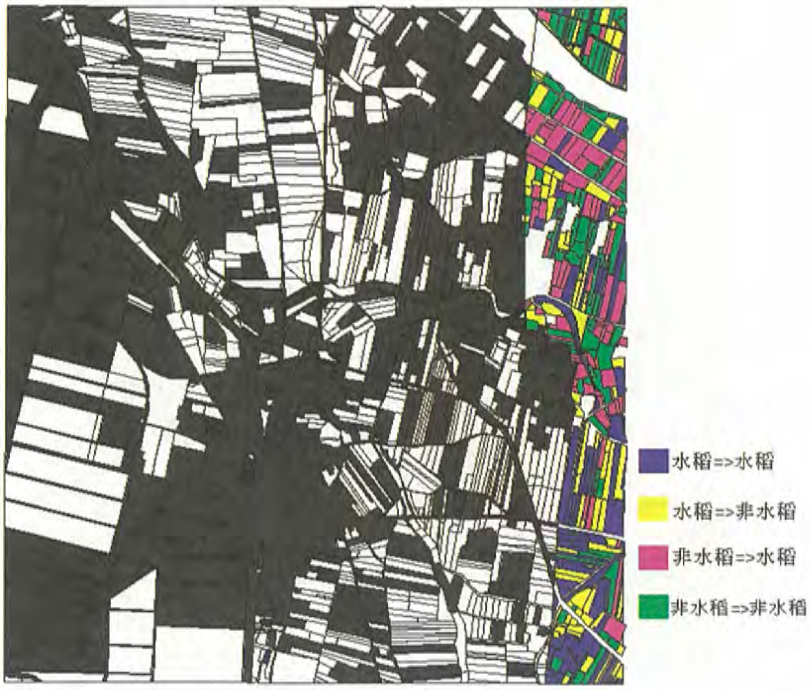


圖 2-4、空載資料 1999 年一期稻 9420-I-017 圖幅 AMSS 判釋分類成果圖。

2.4、分類結果討論

86 年二期稻水稻判釋因具有插秧期與最高分櫱期影像，可以得到相對較高分類精度；88 年一期稻沒有水稻插秧期影像，判釋結果稍差；空載影像只具有單一時期影像，且攝像時的水稻與其它植生波譜反射值不容易區分，所以分類精度最差。由此可見僅是高解像力並不見得能增加水稻田辨識精確度，未來可採用多時期的影像、改進辨識法則或利用到 AMSS 更多的波段資訊來分析，以提高精確度。

參、空載多譜掃描儀影像分析：蔗田分類與作物光譜特性

3.1 影像來源

空載多譜掃描儀（AMSS）DS-1260 MSS 為農委會於 1982 年委由工研院能資所及農委會農林航空測量所引進國內的遙測系統，可同時獲取 12 波段影像資料，包括 1 個熱紅外線波段，各波段波長範圍為 B1：0.38～0.42 微米，B2：0.42～0.45 微米，B3：0.45～0.60 微米，B4：0.50～0.55 微米，B5：0.55～0.60 微米，B6：0.60～0.65 微米，B7：0.65～0.69 微米，B8：0.70～0.79 微米，B9：0.80～0.89 微米，B10：0.92～1.10 微米，B11：3～5 微米或 8～14 微米，B12 與 B11 一樣，但 gain 不同。此系統的解像力為 2.5 毫弧度，像幅寬（Swath）為 1.86H，H：航高。此系統由農航所操作獲得高密度磁度（HDDT）資料後，送交能資所作資料的前處理轉換，再以 CD-ROM 將資料分發申請單位，並送存備份資料至中大太空及遙測中心；系統的維護保養則由工研院量測中心負責。

本試驗使用空載多譜 DS-1260 MSS 影像，飛航時間為 1998 年 11 月 19 日，航

高 5000 呎，地面解析度約 3.5 公尺。航線經過溪湖台糖萬興農場與大排沙農場，攝得部分農場影像可供分類研究。本所人員則在 1998 年 12 月 10 日進行地真調查，藉以分析不同作物的光譜特徵。

3.2 影像前處理

影像波段 1 與波段 2，波長範圍小於 450nm，因受大氣散射影響影像十分模糊（如圖 3-1 及 3-2，與自然色影像的比較），波段 10,11,12 因 S／N 低亦使品質不佳（如圖 3-3）。因此選取其中第 3～9 波段作 IARR（Internal Average Relative Reflectance）轉換以消除部分大氣效應，並使其波譜近於反射率。

圖 3-1、左圖為波段一之影像，右圖為波段二之影像。

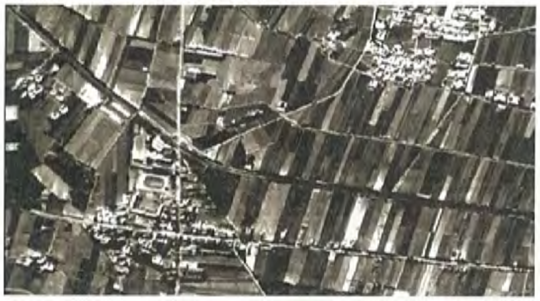


圖 3-2、左圖為波段十二之影像，右圖則為波段六、四、三組合之自然色影像。

圖 3-3、波段 11 影像掃描線位移導致條紋線。

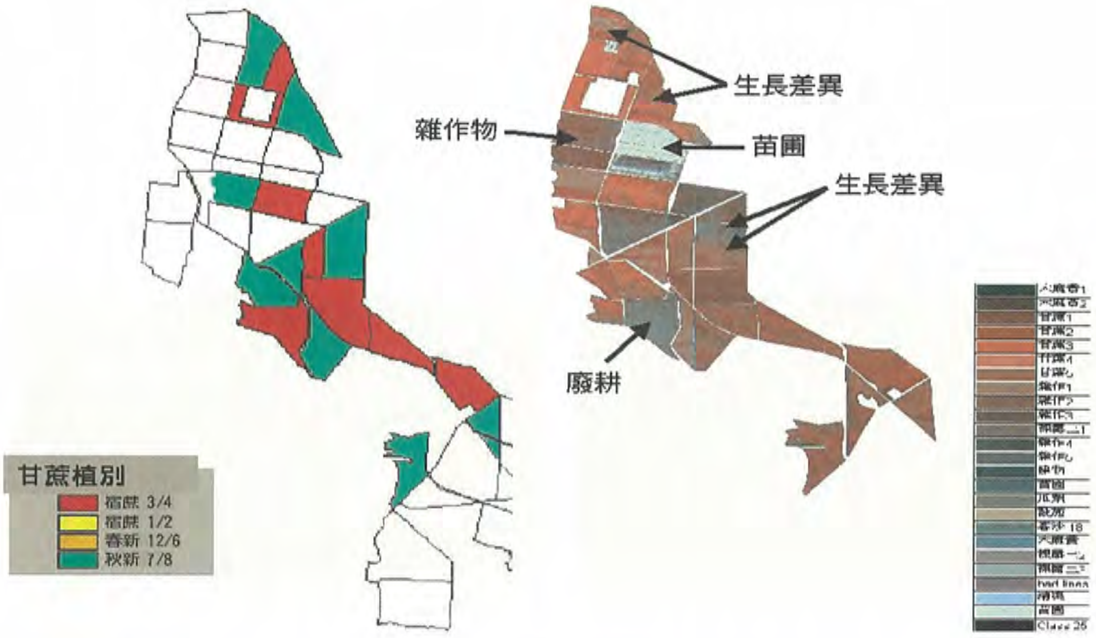


圖 3-4、左圖為蔗田植別地籍坵塊圖，右圖為分類影像。

IARR 轉換假設影像中每一個波段都有相同的大氣條件，且影像涵蓋足夠的地物使其反射率成自然分佈，因此若將像元的灰度值除以其波段的平均值，其結果與反射率間應近於一平移關係，獲得相對反射率。

3.3 分類結果

ARR 轉換後之第 3～9 波段影像資料，再利用 ERDAS/IMAGINE 的 ISODATA 軟體進行影像的非監督式分類，類別計 25 類。圖 3-4 左圖為台糖萬興農場的甘蔗植別地籍圖，右圖即為分類後影像，比較左、右圖可知。以像元為單位的分類影像可在同一植別的區塊內明顯分出不同的生長差異，而這個差異可能原因包括施肥、施水、病蟲...等因素，最終可能造成產量的差異。利用遙測監測農作生長目的在希望能及早發現變異，以利管理。此外左下區田塊按記錄是一區宿蔗，但影像分類圖中卻發現其早已廢耕。

從以上的初步試驗可知，高解像、多光譜的空載多譜掃描影像可用來偵測農作物的異常生長狀況，這在農作物的精準管理上有潛在應用。

比對地真調查記錄，從影像中擷取出 11 種作物及地表波譜如 3-5 圖，圖中可見部份類別在波長 450～500nm，600～700nm，750～850nm 光譜分離度較大，有助日後遙測影像分類應用的參考。亦即只要選擇適當波段，利用多光譜遙測資料，可應用於不同作物的辨別。

肆、台糖農場的 GIS 資料分析

在實施符合精準農業的農耕實作時，建立農田的基本地理資料庫是必須持之以恆的工作，舉凡作物的品種、種植日期、地籍、土壤種類與肥力、施肥種類與量、施水、氣候、病害、蟲害、雜草、產

量…等都要巨細靡遺地記錄、累積下來，作為日後分析、找出產量變異的影響因素，在下次種植時再用變異率技術（VRT），針對不同農田因地置宜實施農田經營管理，以減少支出、提高產量、增加收益。所有建立的資料都必須是地理同位地整合在一地理資訊系統（GIS）。

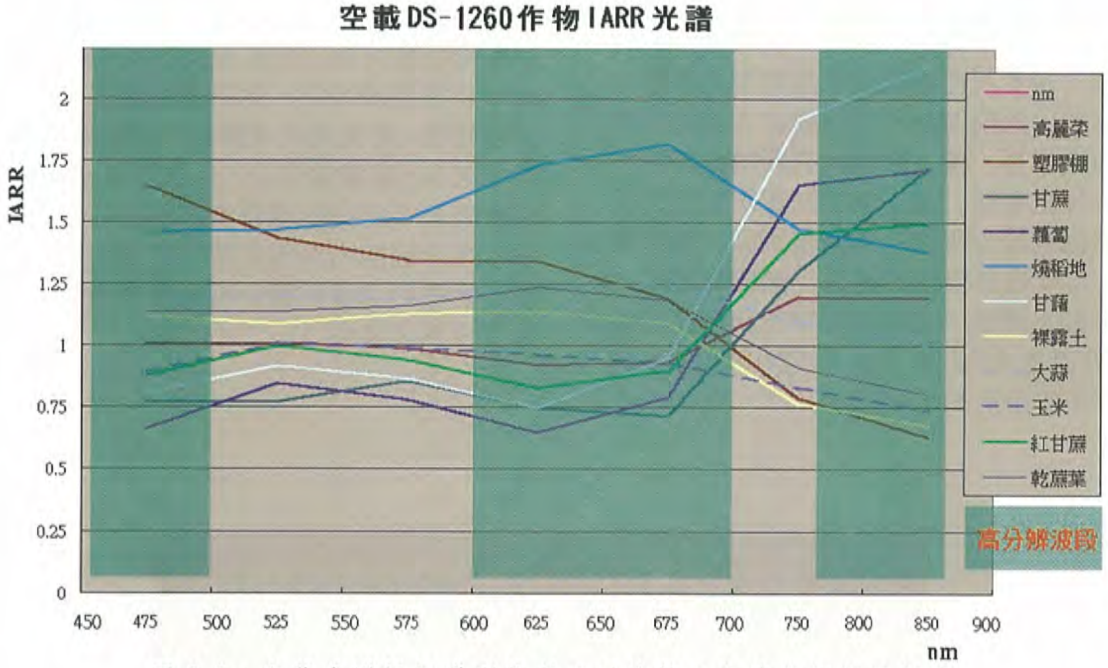


圖 3-5、空載多譜掃描儀影像對不同作物之各波段相對反射率

由於目前國內尚無大型農場利用精準農業的理念來管理農田，因此仍缺乏實施運作的實例。只有台糖在全省各地的自營農場其面積及坵塊較大，且在種植過程中有較詳細的記錄，可利用來作初步的 GIS 資料分析，比較影響產量的因子，以下採用台糖位於彰化溪湖的萬興農場及大排沙農場的 GIS 資料來作先期的試驗分析。

4.1 資料蒐集

圖 4-1 為 85/11/30 SPOT 衛星影像，北方為萬興農場，面積 561 公頃，南方為大排沙農場，面積 578 公頃，攝像時大部份蔗田都尚未收割，在圖 4-1 的假色影像中呈現紅色的蔗田坵塊。農場在種植過程中記錄的資料包括土壤種類、面積、植別（新植或宿根）與月份、品種、雜作面積、施肥種類、量與日期、施藥種類與量及收獲月份與單位蔗量等。表 4-1 即為大排沙農場 85/86 年期蔗田的種植數據。

4.2 資料建立與分析

地籍坵塊圖及水井位置、鄉鎮界、河系利用農場提供地圖以 ARC/INFO GIS 軟體點圖建檔（圖 4-2）。其他如表 4-1 中之數據則以屬性（attribute）方式利用關連式資料庫連結到每個對應坵塊上，以 ArcView 軟體展示。圖 4-3 即為蔗產量分佈圖（yield map），圖 4-4 為硫酸銨施肥量分佈圖。

如何分析診斷作物產量與諸多影響因子間的關係，是實施精準農業所要面臨的大問題。以本試驗而言，影響蔗產量的

重要因子如土壤種類、施肥及植別等，經初步定性地比較，看不出土壤對蔗量有明顯的影響，此因國內蔗種對土壤的選擇性並不嚴格，自疏鬆的石礫地到粘重的粘土都可種蔗。圖 4-5 為產量與施肥的比較，底圖為產量分佈圖，疊於每一坵塊上的直方圖為複合 2 號肥、尿素 1 及硫酸銨的施肥量，初步判釋施肥對產量的變異影響亦不明顯，此因所有蔗田的複合 2 號肥的單位施肥量都一樣，尿素只對新植蔗施用，單位施肥量亦一樣；新植蔗比宿根蔗的硫酸銨施肥量少兩倍，但同植別亦一樣。圖 4-6 為產量與植別的比較，底圖為植別，直方圖為產量，比較結果可見新植蔗的產量明顯比宿根蔗大，單位平均值分別 97474 公斤及 61299 公斤。

4.3 討論

台糖的收獲記錄只有單位產蔗量，並無產糖量的記錄，後者才是精準栽培時較有意義的數據，亦即分析產糖量和各種因子的關係，並據以調整耕種經營方式以增加產糖量，才是蔗田精準管理的目的。本試驗分析雖可看出蔗產量受植別的影響最大，新植產量較佳，但這是農場方面早已知道知識；新植蔗產量雖佳，但投入人力、尿肥較多、硫酸銨較小，且需育苗、整地，是否划算？需要整體經濟分析評估。本試驗僅在示範說明 GIS 在精準農業的可能應用，實際的產量變異分析當更為複雜，且需農經專才參與。

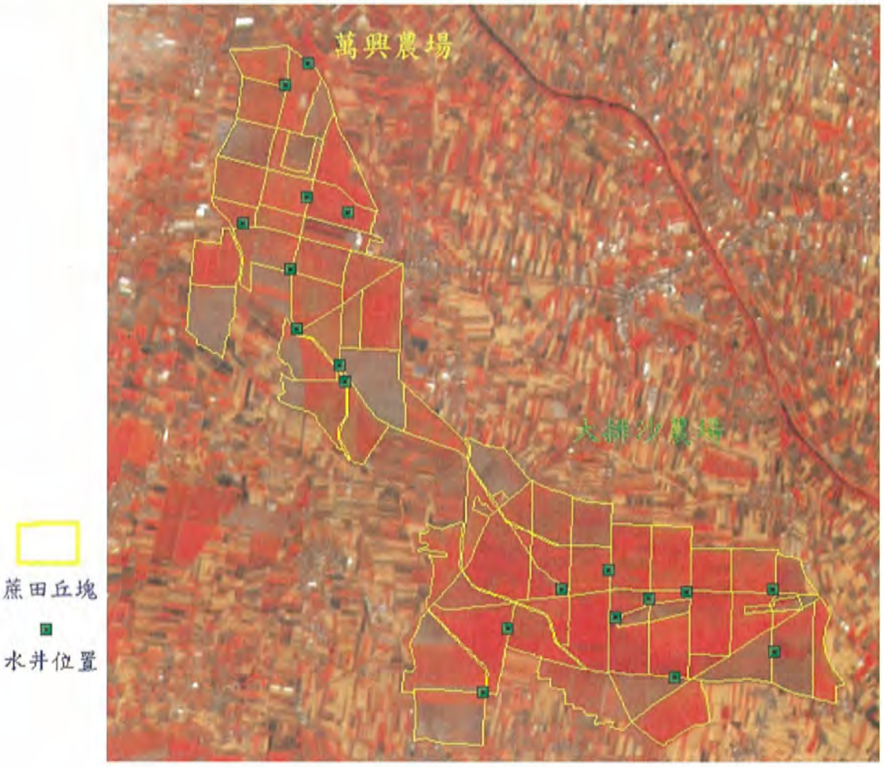


圖 4-1、彰化台糖農場 SPOT 衛星影像（1996/11/30）

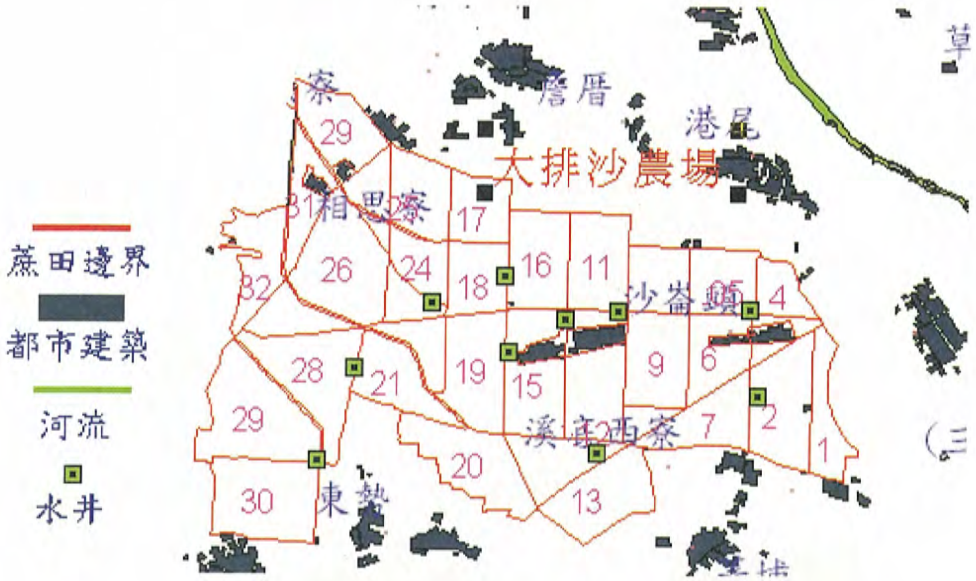


圖 4-2、台糖大排沙農場蔗田坵塊 GIS 圖

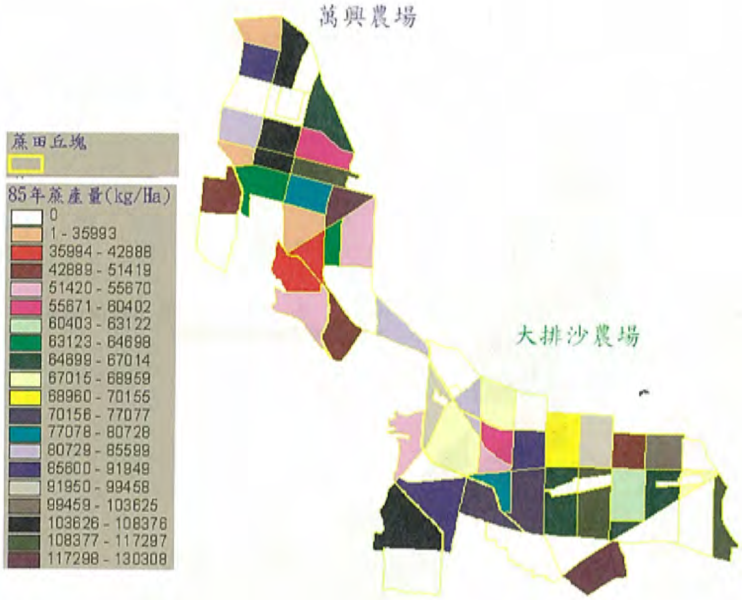


圖 4-3、彰化台糖農場 85/86 年產量圖

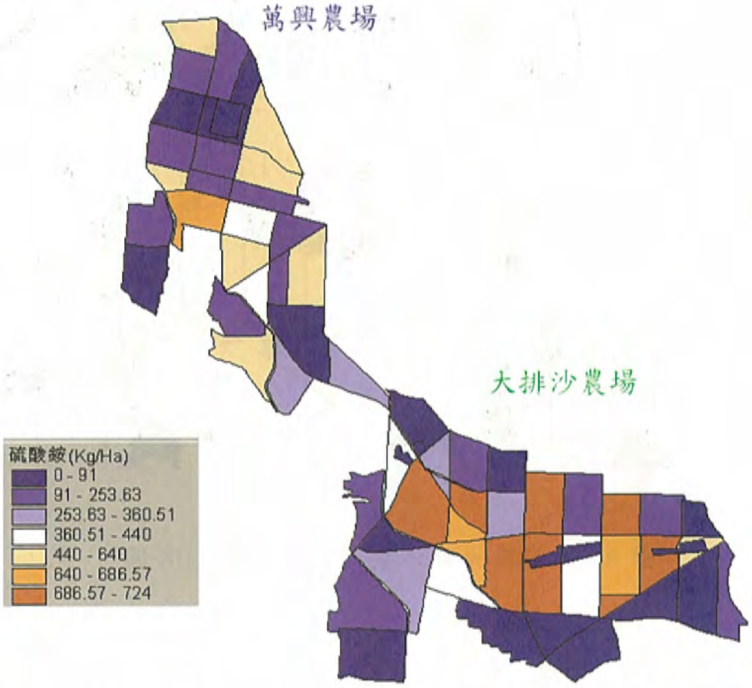


圖 4-4、彰化台糖農場 85/86 年硫酸銨施肥量圖

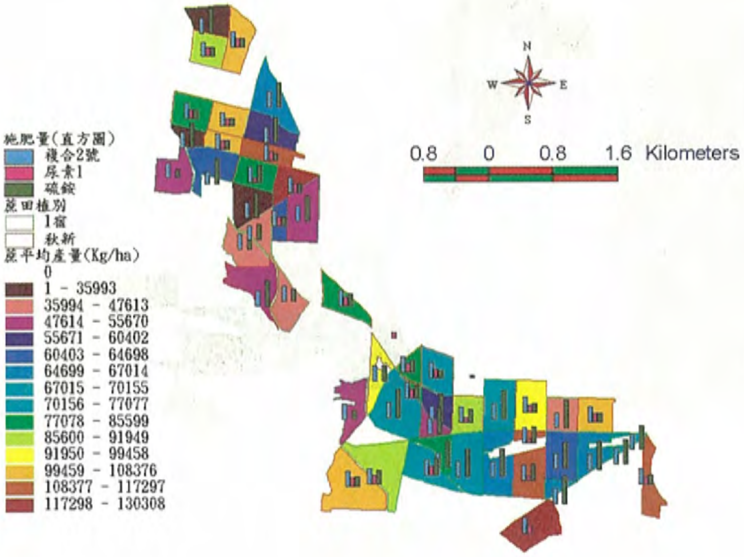


圖 4-5、彰化台糖農場 85/86 年蔗產量與施肥關係圖

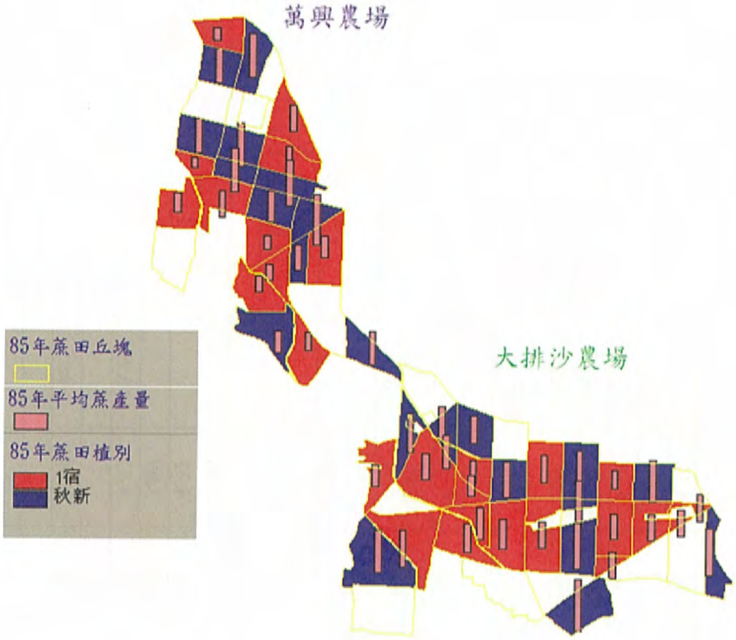


圖 4-6、彰化台糖農場 85/86 年甘蔗種植別與產量關係圖

表 4-1、台糖大排沙農場精耕資料庫

坵塊編號	土壤分類	面積(公頃)	植別	種植時期	種植品種	香米	瓜類	綠肥	複合2號	尿素	硫酸銨	施肥日期	藥Ametryne	藥Diuron	藥Paraquat	藥Glyphosate	收穫日期	平均蔗產量
25	30	18.26	秋新	7/下	C020				398.68	240.96	201.53	84.10.23	2.73	2.90		4.32	12/下	68959
17	27	15.45					15.45				91.00							0
26	39	33.37	1宿	3/下	C016				400.35		719.20	85.06.11	6.29	6.23		0.66	3/上	67825
16	30	28.17	1宿	1/下	C009				400.42		719.91	85.06.14	4.77	4.77		0.42	2/中	70155
11	27	24.98	秋新	8/中	C009				400.32	200.16	240.19	84.11.11	4.11	4.31	0.28		1/上	97235
24	27	11.94	1宿	1/下	C009				402.01		716.92	85.06.10	5.32	4.90	1.72		2/中	60402
18	27	15.76	秋新	8/中	C020				406.09	149.75	335.03	84.11.30	3.74	3.74		0.65	12/上	89333
10	27	15.25	1宿	3/上	C020				398.70		718.70	85.06.14	5.64	5.70	0.37		1/上	47201
5	30	17.00	秋新	8/中	C020				400.00	240.00	240.00	84.11.29	3.47	3.88		0.84	1/上	103625
4	27	13.06					9.43											0
23	39	6.70	1宿	2/上	C001				400.00		686.57	85.06.14	4.91	4.69		1.50	12/上	55403
27	39	10.38						10.38										0
15	39	17.18	1宿	2/下	C016				400.46		721.77	85.06.06	4.02	4.02		0.48	2/下	67014
19	39	27.11	1宿	1/下	C010				401.32		720.03	85.06.13	5.66	5.66		0.29	2/下	77077
9	39	22.07	1宿	3/中	C009				400.50		672.00	85.06.19	4.78	4.78	0.32		2/中	63122
6	39	17.34	1宿	3/中	C009				399.00		720.00	85.06.08	3.92	3.92		0.20	2/中	66139
3	39	4.43	1宿	3/中	C020				406.00		605.00	85.06.17	3.50	3.50	3.02		1/下	68515
22	39	7.34	1宿	1/下	C009				360.00		670.30	85.06.14	4.11	4.11		1.63	2/下	80728
1	28	15.15	秋新	7/下	C009				401.00	211.00	243.00	84.10.26	2.43	4.00		0.56	1/下	117297
2	39	28.17				12.26												0
28	37	29.99	1宿	2/中	C009				400.13	240.34	360.51	85.06.03	3.96	4.06		1.18	12/下	91949
21	29	18.55	1宿	12/下	C001				401.08	231.51	429.11	85.06.04	4.63	4.71		1.13	1/下	74265
29	37	32.21	秋新	8/下	C016				397.15	231.36	253.63	85.02.09	3.69	3.69		4.73	1/中	106502
12	39	20.80	秋新	8/下	C009				402.00	123.07	423.08	84.11.15	4.62	4.62	0.99		2/上	113293
7	39	18.57				18.57												0
8	39	4.20	1宿	2/中	C016				400.00		724.00	85.06.09	3.80	3.80	0.95		1/下	65698
20	39	24.81					13.36	11.45										0
14	39	16.20				6.10	10.10											0
13	39	25.19	秋新	8/中	C001				400.16	200.17	239.77	84.11.08	3.70	4.22	0.40		12/中	130308
30	37	38.15						38.15										0

伍、引用文獻

1. 吳啟南(1999):精準農業之發展,1999年北美華人學術研討會,1999/7/1-3,Washington, D.C.
2. Moran, M.S., Y. Inoue, and E.M Barnes (1997), Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management. Remote Sensing Environ., 61:31-346.
3. Robert, P.C. (1997), Remote Sensing : A Potentially Powerful Technique for Precision Agriculture. Land Satellite Information in the Next Decade II, Dec.4, 1997, Washington D.C.
4. Usery, E.L., S. Pocknee and B. Boydell (1995), Precision Farming Data Management Using Geographic Information Systems. PERS Vol.61, No.11, pp.1383-1391.

Chapter 10 Preliminary Study on the Application of Remote Sensing and GIS for Precision Agriculture

Chi-nan Wu, Kuo-shing Hsiao, Dah-ko Chen,
Tzu-yi Liao, and Chi-chnung Lau
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab.,
Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC

ABSTRACT

The development and application of the technologies relevant to precision agriculture (PA) is still on the initial stage in Taiwan, among which remote sensing (RS) and GIS play an important role for crop management and the operation of PA. In this paper, three cases are presented to pursue potential application of RS and GIS in PA. First, SPOT and AMSS data are used for the identification of rice paddy ; second , the application of AMSS data for the detection of sugarcane growth anomaly and the spectral analysis of various crops are discussed ; finally, GIS data of a sugarcane farm of TSC are integrated for preliminary comparison trying to find the factors affecting sugarcane yield.

Key words: Remote Sensing technology, Information technology, Precision agriculture.

名詞索引

dGPS 19, 20
DSS 66, 68, 69, 70, 77
GIS 66, 67, 69, 70, 71, 77
GPS 106, 108, 109, 110
GPS 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 77
一致性 16, 17
人機交互介面 67
土層水分儲存容量 21
土質分佈 19
土壤取樣 17
土壤性質 18, 19, 22
土壤肥力 17, 19, 21, 54, 55, 57, 58, 62
土壤肥力分佈 19
土壤條件 19
土壤結構 19, 21
土壤感測器 54, 56
土壤資料庫 2, 3, 4
土壤遙測 56, 57
土壤導電度 21
土壤變異 54, 56, 62
大氣校正 81, 89, 90
化學品 16, 17, 18, 19
反射比 22
方格法土壤取樣 55
方塊克利金法 58
水稻種植面積 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90
半變異圖 57
可見光 21
必需元素 38
本土化 71
永續農業 2
生產 2, 3, 4, 5
生產系統 9, 11
生產效率 18
生殖生長相(期) 26, 27
生態維護 9
立體繪製 67
光譜遙測 20
光纖探針 56
全球定位系統 4
全球衛星定位系統 66
全球衛星定位系統 66
向量資料 67
因應措施與策略 19
地下水源 18
地面觀測 20
地理統計 54, 57, 58
地理資訊系統 2, 3, 4, 66, 67, 70, 71, 112, 113, 119
地理編碼 67
地景導向土壤取樣 55
多頻譜光輻射 20
尖端產業 8
成熟相(期) 26, 27
收穫後處理 18, 19, 20

水稻精準農業(耕體)體系之研究

發　行　人：林俊義
主　　　編：楊純明　林俊義
出　版　者：行政業農業委員會農業試驗所
地址/臺中縣霧峰鄉 41301 萬豐村中正路 189 號
電話/(04)330-2301，傳真/(04)333-8162
網址/http://www.tari.tpg.gov.tw
文 字 編 排　芃泰企業有限公司
地址/臺中市德富路 368 號 5 樓之 1
印　刷　廠：學藝印刷有限公司
地址/臺中市仁和二街 78 號
電話/(04)286-1600
版　　　次：第一版
展　售　處：三民書局/臺北市重慶南路一段 62 號/電話(02)2361-7511
正中書局/臺北市衡陽路 20 號/電話(04)286-1600
五南文化廣場/臺中市中山路 2 號/電話(04)286-1600
新進圖書廣場/彰化市光復路 177 號/電話(04)286-1600
青年書局/高雄市青年一路 141 號/電話(04)286-1600

中華民國八十九年四月

統一編號：**025264890030**
ISBN 957-02-5829-2
定價：新臺幣 450 元正

統一編號
025264890030

ISBN 957-02-5829-2

4 909570 258294

定價：450元